ELEMENTI

DI

FISICA

per Licei ed Istituti Tecnici

DEI DOTTORI

FELICE MARCO
già Professore di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Cavour di Torino

CARLO CATTANEO
Prof. di Fisica gener. ed applicata
nel R. Istituto Tecnico di Torino

VOLUME II.

Energia termica - Meteorologia - Energia raggiante
Elettricità e Magnetismo

Con 255 figure intercalate nel testo

TERZA EDIZIONE
con Appendice ed aggiunte

1907

DITTA G. B. PARAVIA E COMP.
(Figli di I. VIGLIARDI-PARAVIA)
TORINO-ROMA-MILANO-FIRENZE-NAPOLI

PROPRIETÀ LETTERARIA

Torino — Stamperia Reale G. B. Paravia e Comp.
497 (M3) IV-907.

Capitolo I.

ENERGIA TERMICA

§ 1. Sorgenti del calore.

1. Corpi caldi e corpi freddi. — Toccando i corpi od anche solo in vicinanza dei medesimi noi sentiamo delle impressioni, la causa delle quali si dice *calore*. Questo perciò, considerato soggettivamente, cioè relativamente ai nostri sensi, si può definire: *quell'attività della materia che desta in noi le impressioni del caldo e del freddo.*

A tale riguardo si distinguono i corpi in *caldi*, *tepidi* e *freddi*.

Ardente o *caldo* diciamo un corpo quando ci comunica molto calore; *tepido* quando ci riscalda poco; *fresco* o *freddo* quando invece ci sottrae calore. In quest'ultimo caso il corpo è meno caldo che noi; nei due primi è più caldo. Ogni corpo freddo può cedere calore ad un corpo ancor più freddo.

2. Caloria. — Il calore, essendo una energia della materia, si dovrebbe misurare mediante il *chilogrammetro* che è l'unità di misura delle energie. Ma se tale unità di misura è più giusta in teoria, nella pratica si trova più conveniente assumere come unità di misura delle quantità di calore la *caloria*, che è: *la quantità di calore necessaria per riscaldare* 1 *chilogr. di acqua distillata da* 0° ad 1°.

Anzi si distingue la *grande* e la *piccola* caloria. La prima è quella ora definita, e la seconda è la millesima parte della prima,

cioè: *la quantità di calore necessaria per riscaldare da* 0° *ad* 1° 1 *gr.* di *acqua distillata.*

Però si usa generalmente la grande caloria.

Si vedrà poi quale relazione vi è fra la caloria e il chilogrammetro.

3. Sorgenti di calore. — Le sorgenti di calore si possono distinguere in *meccaniche*, *fisiche* e *chimiche*.

4. Sorgenti meccaniche del calore. — Le *sorgenti meccaniche* sono lo *strofinamento*, la *percussione* e la *compressione.*

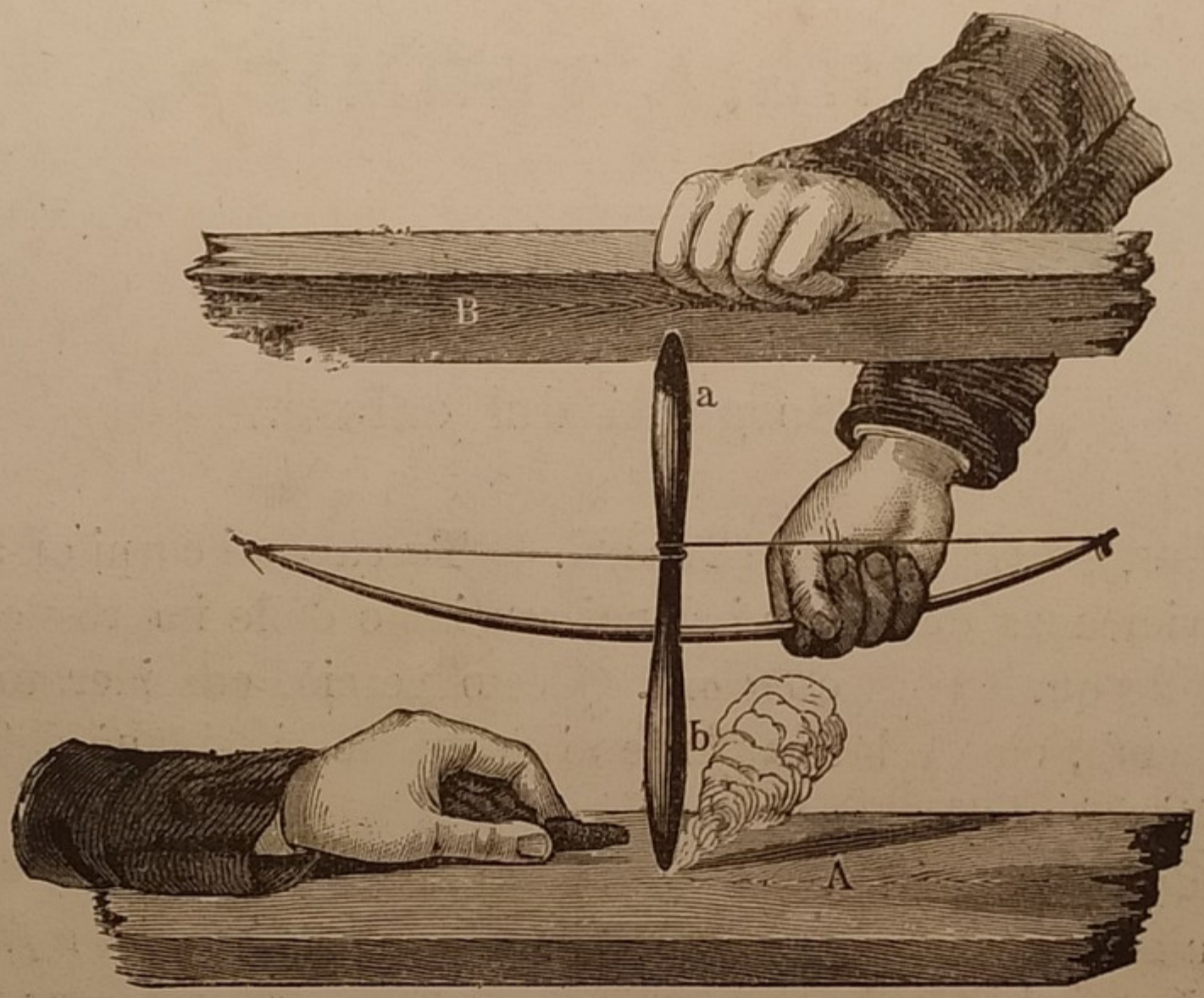


Fig. 1.

5. Sviluppo del calore per strofinamento. — Un pezzo di metallo fregato su una tavola di legno diviene scottante. Lo stesso succede nei succhielli e nelle seghe per prolungato lavoro.

Gli assi delle ruote, se non sono convenientemente unti, nel celere girare si arroventano pel calore sviluppato dall'attrito; le pietre da molino possono perfino cagionare incendio, quando non hanno più grano da macinare e si fregano l'una coll'altra; noi stessi nell'inverno ci strofiniamo le mani l'una coll'altra per riscaldarle.

I selvaggi si procurano il fuoco frullando un cavicchio di legno aguzzo in due buchi praticati in assicelle.

La fig. 1 mostra l'apparecchio di cui si servono gli Indiani di *Dacota* (America del Nord) a tale scopo. Consiste in un doppio fuso (*a b*) di legno duro e asciutto, i cui capi vengono introdotti in due cavità praticate in due assicelle di legno. Mettendo in rapida rotazione il fuso con un arco il legno si accende.

Tale mezzo di procurarsi il fuoco è conosciuto e praticato da tutti i popoli selvaggi. Plinio nella sua Storia naturale (XVI, 76) dice che il miglior legno strofinante (*a b*) è il lauro, e quello da strofinare (A, C) è l'edera.

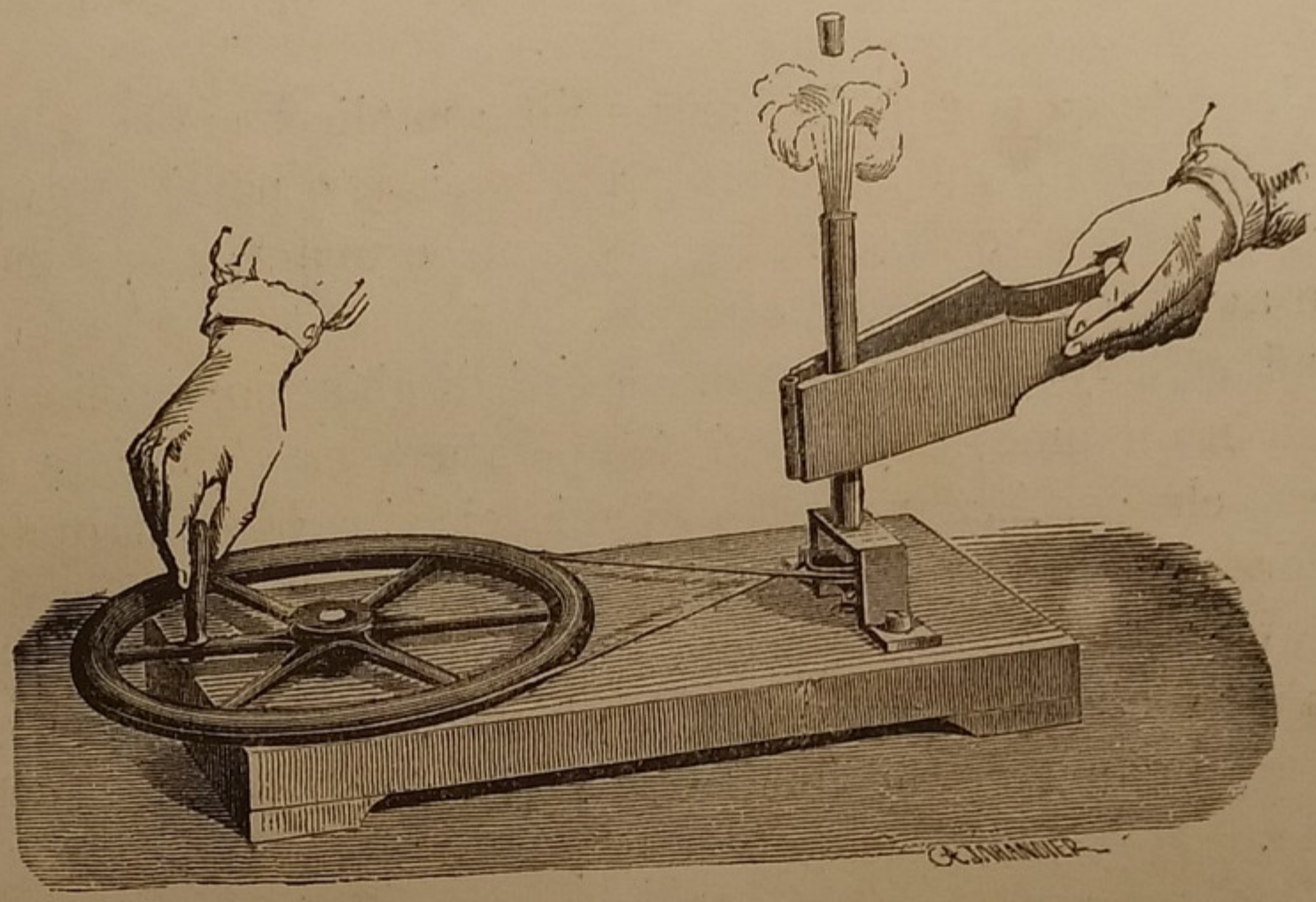


Fig. 2.

Noi pure accendiamo il fuoco portando, mediante un debole strofinìo, il fiammifero alla temperatura dell'accensione del fosforo (40°).

Il conte Rumford, americano, dirigeva nel 1797 la foratura dei cannoni nell'arsenale militare di Monaco in Baviera, quando rimase vivamente colpito dall'ingente riscaldamento prodotto in tale operazione, e fu condotto ad inventare un apparecchio in cui si generava calore col fregamento. Consisteva questo in un cilindro cavo di bronzo, nel quale entrava un cilindro massiccio di acciaio temprato, che era premuto contro il fondo del primo. Tale apparecchio era collocato in una cassa di legno contenente

circa 10 litri di acqua. Un cavallo faceva girare il cilindro massiccio, e dopo 2 ore e $^1/_2$ l'acqua era completamente in ebollizione.

Consimile esperienza si fa oggidì nelle scuole mediante l'apparecchio di Tyndall, rappresentato nella fig. 2. Si pone un poco d'acqua, o meglio d'alcool, od etere (poichè questo richiede solo la temperatura di circa 35° per bollire) in un tubo di metallo, e lo si chiude con un tappo; quindi lo si fa ruotare stringendolo leggermente fra due assicelle di legno foderate internamente di cuoio; il lavoro piuttosto rilevante che si fa per vincere l'attrito scuotendo le molecole riscalda il tubo e quindi il liquido, per guisa che questo bolle e il suo vapore fa saltare il tappo.

L'esperienza si può fare anche più semplicemente e speditamente, fissando il tubo mediante una morsa, e poi strofinandolo mediante un nastro di panno grossolano, o una fune pieghevole che lo avvolge per un giro e mezzo.

Infine Davy fece fondere due pezzi di ghiaccio strofinandoli assieme in un ambiente la cui temperatura era inferiore a 0°. Vedremo che per fondere un *kg* di ghiaccio si richiede la quantità di calore necessaria per riscaldare lo stesso peso di acqua da 0° a 80° circa. Ora siccome nella descritta esperienza il ghiaccio non può venire riscaldato dall'ambiente, bisogna ammettere che il calore che lo fa fondere gli viene somministrato dallo strofinìo.

6. Calore sviluppato nella percussione. — Una palla di piombo cadendo dall'altezza di alcuni metri sul suolo si schiaccia e si riscalda; il che si può facilmente accertare mediante un adatto termometro.

Una sbarra di ferro violentemente martellata si arroventa, e un pezzo di piombo fonde.

Le piastre delle navi corazzate colpite da una palla dei moderni cannoni divengono roventi.

L'acqua del mare dopo una tempesta è più calda.

Le acque di una cascata urtando contro le roccie si riscaldano.

Sovente i ferri dei cavalli urtando nelle pietre mandano scintille, perchè si distaccano particelle di ferro, le quali, per l'ele-

vata temperatura prodotta dallo scuotimento diventano incandescenti e si combinano coll'ossigeno dell'aria.

La stessa origine hanno le scintille che manda la ruota dell'arrotino quando affila il ferro.

7. Il calore sviluppato per la compressione è dimostrato dall'esperienza dell'acciarino pneumatico, col quale apparecchio si accende l'esca mediante il calore sviluppato dalla compressione e conseguente condensazione dell'aria in un tubo chiuso.

Le stelle cadenti o filanti che sovente si veggono nella notte non sono che pietre degli spazi celesti (contenenti ferro, silice, ecc.) le quali entrando nella nostra atmosfera perdono velocità, ma si accendono pel calore prodotto dallo strofinio, e specialmente dalla condensazione dell'aria avanti di sè, come fa lo stantuffo nell'acciarino pneumatico.

I metalli si riscaldano notevolmente per l'azione della filiera e del laminatoio, nel quale caso agisce ad un tempo l'attrito e la compressione; le monete quando vengono coniate scottano.

8. Fra le sorgenti fisiche di calore si possono comprendere il calore solare, il calore terrestre e l'elettricità.

Il calore solare è la sorgente di tutte le energie terrestri. Esso determina l'evaporazione delle acque dei mari e dei laghi, che poi, ricadendo in forma di pioggia o neve, somministrano l'acqua necessaria per la vita vegetale e animale, ed alimentano i fiumi e le sorgenti.

L'origine e conservazione del calore solare, secondo Mayer, è dovuta alla caduta di masse meteoriche sul medesimo; e, secondo Helmoltz, alla incessante condensazione della sua massa.

L'azione del calore solare non penetra nel suolo oltre una piccola profondità, di circa 25 *m.*, ove si trova il così detto *strato di temperatuta invariabile*. A profondità maggiore, nelle gallerie delle miniere, nei pozzi trivellati, regna una temperatura più elevata, la quale cresce colla profondità, quantunque non secondo una legge fissa (in media 1° ogni 30 *m.*); quindi la terra deve possedere un *calore proprio*.

Sorgente vivissima di calore sono poi le scariche elettriche, istantanee o continue, le quali ultime costituiscono la corrente elettrica, perchè l'elettricità che passa da una molecola all'altra determina uno scuotimento nelle medesime.

9. Sorgenti chimiche di calore. — Il più sovente noi sviluppiamo calore mediante azioni chimiche, cioè colla combustione del legno, carbone e altri combustibili, la quale consiste in una rapida combinazione dei medesimi coll'ossigeno dell'aria.

Così pure, la calce viva bagnata con acqua si unisce a questa con notevole riscaldamento; versando acido solforico nell'acqua il miscuglio si riscalda così che il recipiente scotta.

La quantità del calore sviluppata nelle combinazioni chimiche venne studiata specialmente per le combustioni ordinarie, cioè per le combinazioni dei corpi coll'ossigeno, e si trovò che nel maggior numero dei casi, sebbene non in tutti, *è approssimativamente proporzionale alla quantità di ossigeno impiegata.*

Si chiama *potere calorifero* di un combustibile il numero di calorie che svolge 1 *kg.* del medesimo bruciando completamente. Esso è indipendente dal tempo impiegato per la combustione, cioè è lo stesso, sia questa rapida o lenta, e non varia adoperando ossigeno più o meno diluito con azoto.

Si sa che gli animali hanno tutti una temperatura propria più o meno superiore a quella dell'ambiente in cui vivono. In quelli a temperatura costante (mammiferi o uccelli) codesta temperatura è pressochè indipendente dall'esterna; essa è di 37° nell'uomo sano, mentre anmenta alquanto nei febbricitanti. Negli altri mammiferi è poco diversa. Negli uccelli poi arriva ai 40°. Invece nei rettili e nei pesci supera quella dell'ambiente solo di 1° a 2°.

Ora il calore animale proviene dalla combustione dell'idrogeno e del carbonio del sangue effettuata dall'ossigeno dell'aria che viene inspirata e portata in circolazione.

Il calore sviluppato nelle azioni chimiche può essere causa di incendi spontanei. Così, stracci unti, o stoffe tinte di fresco, ammucchiate l'una sull'altra, possono da sè stesse accendersi, perchè assorbono l'ossigeno dell'aria e si combinano col medesimo; parimente cumuli di erba o fieno, umidi, marciscono riducendosi in una massa nera carbonosa, e si riscaldano sviluppando idrocarburi che in contatto dell'aria possono accendersi.

§ 2. Teoria meccanica del calore.

1. Ipotesi intorno alla natura del calore. — Gli antichi filosofi naturalisti si sforzarono di interpretare i fonomeni calorifici mediante l'*ipotesi dell'emissione*, secondo la quale il calore è un fluido imponderabile, denominato *calorico*, che viene emesso dai corpi quando si raffreddano, ed assorbito dai medesimi quando si riscaldano. Un esame più profondo dei detti fenomeni indusse i fisici ad abbandonare quell'ipotesi, ed adottare in sua vece la così detta *teoria meccanica del calore*, secondo la quale esso consiste in un movimento vibratorio delle particelle dei corpi.

Detta teoria trova le sue basi fondamentali nella considerazione dei fenomeni accennati nel paragrafo precedente, nei quali si verifica costantemente la trasformazione reciproca del lavoro meccanico in calore; nei quali cioè l'energia cinetica che sparisce nel vincere l'attrito, o nella percussione, o nella compressione, si trasforma in forza viva molecolare, ovvero l'energia potenziale dell'affinità fra corpi combustibili e corpi comburenti si trasforma in energia termica e questa in energia meccanica come nelle macchine a vapore.

2. Equivalente dinamico della caloria. — Ora, posto il principio della conservazione dell'energia (vol. I, § 35), è razionale il pensare che vi deve essere un rapporto costante fra la quantità del calore sviluppato e il lavoro consumato, ed inversamente quando si genera lavoro consumando calore, come nelle macchine a vapore, vi deve essere un rapporto costante fra il lavoro che si produce e il calore che si consuma.

E siccome l'unità di misura delle quantità di calore, come si è già detto (pag. 1), è la caloria, e l'unità di misura del lavoro meccanico è il chilogrammetro, perciò si è cercato di determinare il numero dei chilogrammetri di lavoro che si debbono consumare per sviluppare una caloria, ed inversamente, il numero dei chilogrammetri di lavoro che si possono ottenere dal consumo di una caloria.

Il che venne fatto dapprima (1842) da Mayer, e poi più esattamente da Joule, Hirn, ed altri. Per brevità si dà qui solo

un cenno delle esperienze di Joule, le quali furono le prime che diedero un risultato assai prossimo al vero.

La fig. 3 rappresenta, nella sua forma più semplice, cioè ridotto alle parti essenziali, l'apparecchio usato da Joule per determinare l'equivalente meccanico del calore. Esso consisteva in un *calorimetro*, cioè un recipiente contenente un determinato peso di acqua, dal cui riscaldamento, indicato da un termometro, si conosceva in calorie la quantità di calore in essa sviluppata, poichè la caloria essendo la quantità di calore necessaria per riscaldare

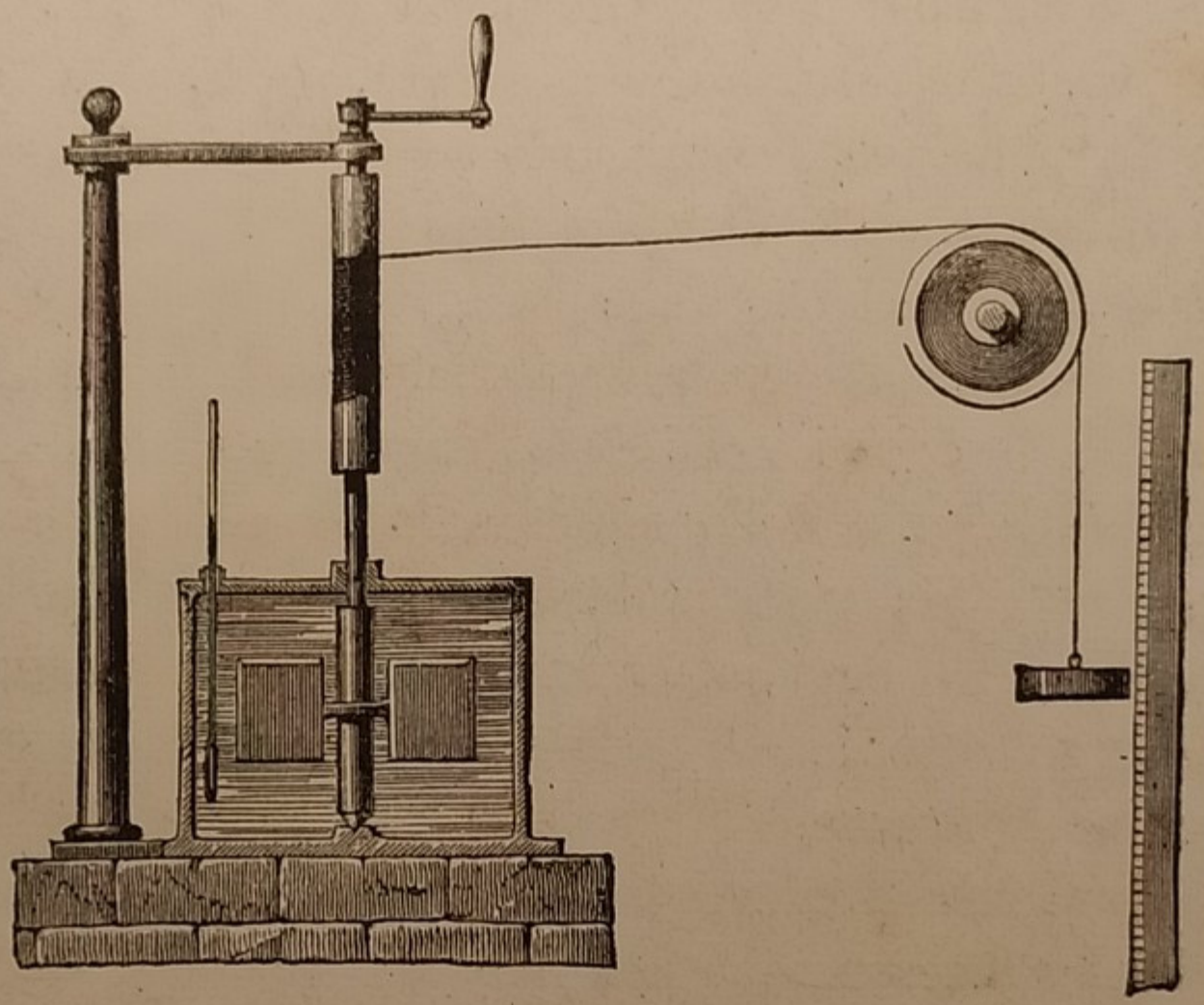


Fig. 3.

di 1° 1 *kg.* di acqua, per riscaldare questo di $t°$ si richieggono, come vedremo, t calorie, e per riscaldarne P chilogrammi di $t°$ si richieggono P t calorie.

Nell'acqua del calorimetro era immerso un asse verticale a cui erano fissate inferiormente 16 alette (nella figura ne sono rappresentate solo due), che scuotevano il liquido nella rotazione dell'asse, la quale era prodotta da 2 pesi attaccati a due funi che si avvolgevano attorno a quello, e passavano su due carrucole mobilissime. Moltiplicando l'altezza della caduta indicata da un regolo verticale graduato, per la grandezza del peso, si ha il lavoro consumato nella detta rotazione per ogni caduta, e il nu-

mero delle calorie sviluppate si conosce dalla massa dell'acqua e dal suo riscaldamento.

Siccome però con una sola caduta del peso la variazione di temperatura dell'acqua è troppo piccola, Joule ripeteva la caduta molte volte, sollevando successivamente i pesi mediante l'avvolgimento delle funi attorno all'asse.

Per es., se in un'esperienza i pesi erano 20 *kg.* ciascuno, il peso totale cadente era 40 *kg.*

Se l'altezza della caduta era 3 *m.*; il n° dei *kgm.* di lavoro consumato ad ogni caduta era $40 \times 3 = 120$ *kgm.*

Se il numero delle cadute era 70, il numero totale dei *kgm.* consumati era $120 \times 70 = 8400$ *Kgm.*

Se l'acqua contenuta nel calorimetro era 10 *kg.*, e il n° dei gradi di riscaldamento 2, il numero totale delle calorie sviluppate era $2 \times 10 = 20$.

Dunque 8400 *kgm.* di lavoro consumato sviluppavano 20 calorie.

Perciò secondo i precedenti numeri ad ogni caloria corrispondono

$$\frac{8400}{20} = 420 \text{ } kgm.$$

Però il problema non è così semplice, perchè bisogna tenere conto del calore sviluppato dall'attrito nell'asse della carrucola, il quale evidentemente non contribuisce a fare variare la temperatura dell'acqua nel calorimetro; del calore consumato nel riscaldamento delle pareti di questo, del lavoro consumato nel comunicare la velocità di rotazione all'albero cui sono infisse le alette, e alle carrucole, ed infine della forza viva che rimane nei pesi cadenti dopo eseguito il lavoro della rotazione dell'asse.

Joule fece così molti esperimenti coll'acqua, coll'olio di balena, col mercurio, ecc. Egli ottenne come valore medio 425 chilogrammetri, permodochè, secondo le sue esperienze, quando il lavoro si trasforma in calore, per ogni caloria sviluppata vengono consumati 425 *kgm.* di lavoro. Ma siccome Rowland ha ottenuto in seguito il valore 427,52 *kgm.*, ed ha mostrato come, fatte le debite correzioni, anche dalle esperienze di Joule si ottiene un numero alquanto maggiore di 425, perciò oggidì si ritiene che l'equivalente meccanico della caloria sia 427 *kgm.*

Viceversa, nelle macchine a vapore l'energia potenziale dell'affinità chimica fra il combustibile e l'ossigeno dell'aria viene trasformata in energia termica, e questa in energia meccanica cinetica, cioè in moto di masse. E si è accertato che il vapore, uscendo dalla macchina, ha in sè meno calore che quando vi è entrato, in ragione del lavoro da esso eseguito. Hirn che misurò il numero dei chilogrammetri ottenuti per ogni caloria scomparsa, lo trovò compreso fra 420 e 432. Così venne confermato il valore numerico dell'equivalente dinamico della caloria, e la costanza del medesimo, come richiede la legge della conservazione dell'energia.

Pertanto si ammette che: l'*equivalente meccanico della caloria è di* 427 *chilogrammetri*, ed inversamente che: *l'equivalente calorifico o termico del chilogrammetro è* $^1/_{427}$ *di caloria.*

L'equivalenza del calore e del lavoro meccanico è una delle scoperte più importanti dello scorso secolo; e il *principio della conservazione dell'energia*, di cui quello è un caso particolare, è divenuto il fondamento delle scienze fisiche, come quello della *conservazione della materia*, formulato da Lavoisier, è divenuto il fondamento della Chimica.

3. La natura del movimento calorifico e la temperatura. — Lo sviluppo del calore mediante lo scuotimento delle molecole dei corpi non permette di dubitare che esso consista in un movimento di queste. Ma intorno alla natura di tale movimento i Fisici non sono ancora completamente d'accordo. Tuttavia la maggior parte ammette con Clausius che le molecole dei solidi hanno un moto vibratorio da una parte e dall'altra della loro media posizione d'equilibrio; che quelle degli aeriformi posseggono un moto progressivo per cui continuamente si urtano a vicenda, e urtano le superfici dei corpi immersi nei medesimi; ed infine che nelle molecole dei corpi liquidi esistono ambedue i movimenti, ma con prevalenza di quello vibratorio.

Secondo la moderna teoria meccanica del calore la temperatura dipende dalla forza viva delle molecole costituenti i corpi; e la si deve distinguere dalla *quantità di calore*. La prima dipende solo dall'energia di movimento delle molecole, e non dal numero di queste; invece la quantità di calore dipende ad un tempo, e da quell'energia e dal numero delle molecole cioè dalla massa dei corpi.

In una piccolissima fiamma vi è una temperatura più elevata che in una grande caldaia d'acqua tepida, ma vi è minor quantità di calore, perchè nella prima vi è una piccola massa, mentre nella seconda vi è una grande massa; la prima scotta la mano e la seconda no; ma la prima impiegherebbe lunghissimo tempo a fondere una tonnellata di ghiaccio, mentre la seconda produrrebbe questo effetto in brevissimo tempo, massime se il ghiaccio fosse in frammenti, permodochè vi fosse ampia superficie di contatto fra esso e l'acqua.

Bruciando 1 *Cg.* di carbone si sviluppa una certa quantità di calore e una certa temperatura; bruciando 2 *Cg.* si sviluppa la stessa temperatura ma una quantità doppia di calore.

4. Temperature assolute. — Si è veduto (vol. I, § 8) che per misurare le temperature si prende per punto di partenza, cioè per temperatura *zero*, quella del ghiaccio fondente. Ma non si deve credere che a questa temperatura sia nullo il calore, perchè il ghiaccio, come ogni altro corpo, può assumere temperature inferiori allo zero, siccome avviene quando la temperatura dell'aria è inferiore a quella del ghiaccio fondente. Lo zero dei termometri centigradi e ottantigradi non è che una temperatura convenzionale, che si è stabilito di prendere per punto di partenza nella graduazione dei medesimi.

Ma teoricamente esiste una temperatura alla quale è nullo il movimento calorifico, e questa si dice temperatura dello *zero assoluto*. Essa si determina teoricamente, come vedremo, ed è quella di $-$ 273°, cioè 273° sotto la temperatura del ghiaccio fondente.

Le temperature misurate da quella dello zero assoluto si dicono *temperature assolute*.

§ 3. Conduttività termica dei solidi, liquidi e gas.

1. Propagazione del calore. — Il calore può propagarsi in tre modi, cioè, o per la materia imponderabile detta *etere*, che si ammette esistente in tutto l'universo, nella quale si propaga per raggi come la luce, e si dice perciò *calore raggiante*; tale è il calore che ci viene dal sole attraverso il vuoto interplane-

tario; o per la materia ponderabile, di molecola in molecola, come il calore che si propaga in una verga di metallo riscaldata ad una estremità; ovvero, infine, per trasporto della materia ponderabile come avviene in generale nei fluidi. Per ora non ci occupiamo che nel 2° e 3° modo di propagazione.

2. Conduttività nei solidi. — Se si tiene colla mano un capo di una corta verghetta metallica mentre l'altro capo è immerso in una fiamma, si sente presto scottare la mano. Invece una verga di legno, o di carbone di legno, si lascia accendere, e un tubo di vetro si lascia fondere ad un'estremità senza scottare la mano che la tiene a poca distanza. Dunque: *il calore può propagarsi più o meno facilmente nei corpi da una molecola all'altra.*

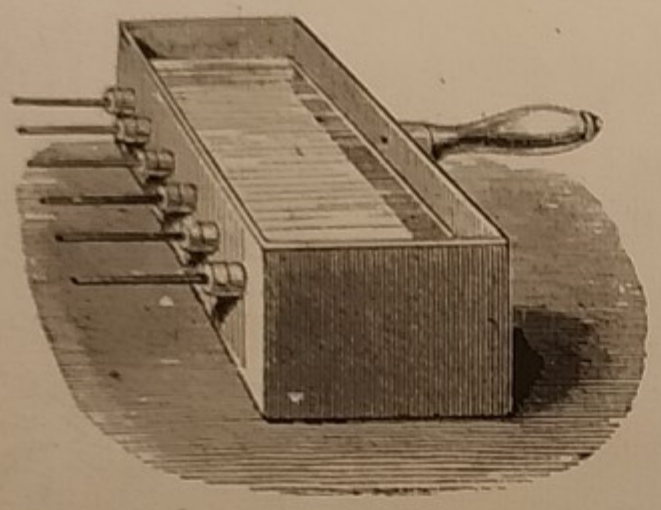


Fig. 4.

Il calore che si propaga nei corpi da una molecola all'altra si dice: *calore condotto*, e *conduttività termica* la proprietà dei corpi di condurre il calore. I corpi poi si distinguono in *buoni* o *cattivi conduttori* del calore, secondochè questo si propaga più o meno facilmente nei medesimi.

Sono *buoni conduttori* i metalli, il carbone delle storte e il coke; *medriocri conduttori* molti minerali come il marmo, le pietre in generale, ecc.; *cattivi conduttori* sono il legno, il carbone comune, il vetro, la porcellana, le sostanze organiche, ed in generale le sostanze composte di frammenti, come il cotone, la lana, i capelli, le penne, la cenere, i liquidi ad eccezione del mercurio, i gas e vapori.

La diversa conduttività dei solidi, già attestata dai precedenti esperimenti, si dimostra ancora nelle scuole mediante la cassetta di Ingenhousz (fig. 4), che è una cassetta rettangolare metallica, in una cui parete laterale sono infisse verghette di uguale lunghezza e diametro, ma di sostanze diverse, come argento, rame, ferro, vetro, legno, carbone, ecc., le quali sono esternamente ricoperte di uno straticello uniforme di cera. Versando olio, o anche solo acqua bollente, nella cassa, si vede la cera fondere più rapidamente ed estesamente sull'argento e sul rame, poi sul ferro, mentre sul vetro e sul legno la fusione è poca o nulla.

Si può così giudicare la conduttività della sostanza dalla lunghezza su cui si produce la fusione della cera. Però, per tale giudizio, conviene aspettare che la fusione abbia cessato di progredire su tutte le verghe, perchè la rapidità della fusione dipende non solo dalla conduttività, ma anche dal calore specifico del metallo. Così, sul ferro che ha maggior calore specifico del bismuto, cioè richiede, a parità di massa, maggior quantità di calore per acquistare la temperatura di fusione della cera, questa fonde meno rapidamente che sul bismuto, quantunque il primo sia più conduttore del secondo.

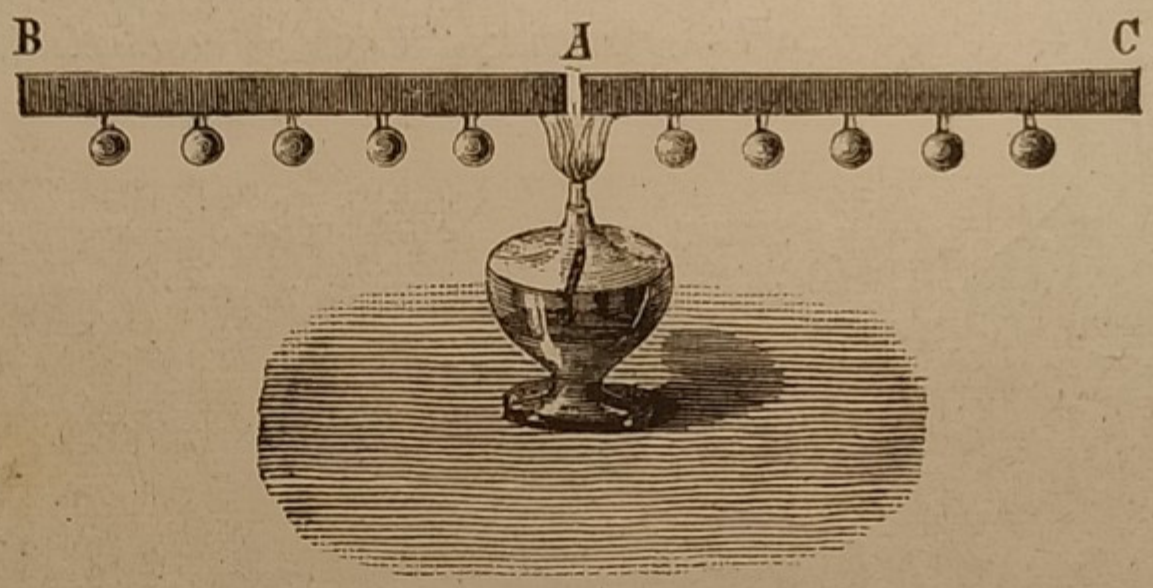


Fig. 5.

Si prova anche la diversità conduttività dei metalli mediante l'esperienza rappresentata dalla figura 5. Si riscaldano contemporaneamente, con una stessa fiamma, le estremità di due verghe di egual forma e dimensione, ma di metalli diversi, p. es. una di ferro e l'altra di rame, cui sono attaccate con cera delle palline equidistanti, e si vede staccarsi in egual tempo un maggior numero di palline dalla verga di rame che non da quella di ferro, il che prova essere il rame più conduttore del calore che non il ferro.

3. Conduttività relativa dei metalli, secondo Wiedemann e Franz. — Questi fisici, rappresentando con 100 la conduttività dell'argento che trovarono massima, dedussero dalle loro esperienze che la conduttività dei metalli compresi nel seguente quadro è misurata dai numeri corrispondenti:

Argento	100	Zinco	19	Piombo	8,5
Rame	73,6	Stagno	14,5	Platino	8,4
Oro	53,2	Ferro	11,9	Argentana	6,3
Ottone	23,1	Acciaio	11,6	Bismuto	1,8.

È da notare che l'ordine della conduttività dei metalli pel calore è presso a poco lo stesso di quello della loro conduttività elettrica.

4. Nei corpi non omogenei la conduttività varia colla direzione. — Nei metalli e negli altri corpi omogenei e di eguale struttura in ogni direzione (*corpi isotropi*), la conduttività non varia col variare di queste. Ma non è più così nei corpi la cui struttura varia colla direzione (*corpi anisotropi*), come i legni, e i cristalli, ad eccezione di quelli del sistema cubico. Allora si trovano due direzioni una di massima, e l'altra di minima conduttività, le quali sono fra loro perpendicolari. Così i legni conducono meno male il calore nella direzione delle fibre che non in direzione perpendicolare alle medesime.

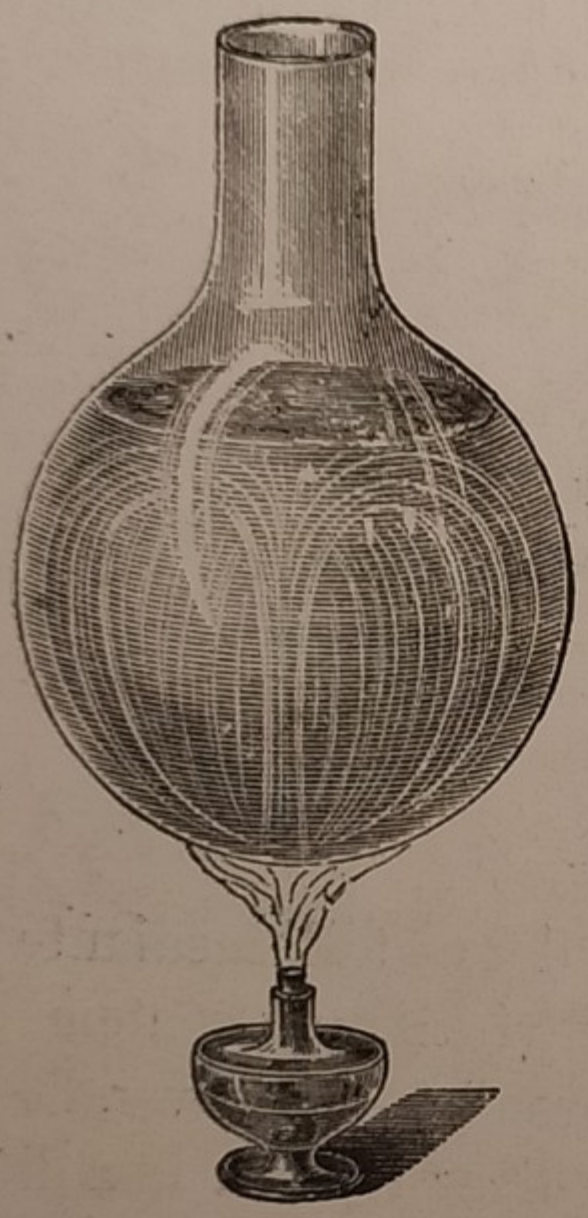


Fig. 6.

5. Relazione fra la conduttività e l'irradiazione. — Siccome le molecole dei corpi non sono a contatto, il calore condotto deve necessariamente passare da una molecola all'etere che la circonda, e da questo alla molecola successiva; cioè *la conduzione è un'irradiazione di molecola in molecola*; perciò avviene assai più lentamente che l'irradiazione, e solo mediante il riscaldamento di tutte le molecole interposte.

6. Conduttività dei liquidi. — Questi corpi sono pochissimo conduttori fatta eccezione del mercurio che ha una conduttività comparabile a quella degli altri metalli; e se il calore si comunica abbastanza prontamente a tutta la loro massa quando vengono riscaldati inferiormente, come si pratica ordinariamente, ciò avviene non già per conduttività, ma bensì per *circolazione* che dicesi anche *convezione* o *trasporto*, cioè per le correnti che si stabiliscono nella massa liquida, perchè gli strati inferiori riscaldati si dilatano, diventano specificamente più leggieri, si sollevano pel principio di Archimede, mentre altre porzioni della massa liquida discendono e vengono alla loro volta a riscaldarsi.

Tale fatto si rende manifesto mettendo segatura di legno nell'acqua di un recipiente di vetro (fig. 6), e poi riscaldandola inferiormente; si veggono così i minuzzoli di segatura discendere in una parte del liquido e sollevarsi in un'altra, trascinati dalle correnti discendenti e ascendenti che si stabiliscono nel medesimo.

E sono appunto queste correnti, prodotte dalla dilatazione termica che si utilizzano nei caloriferi ad acqua calda.

Ma se si impedisce tale propagazione del calore nei liquidi per trasporto, riscaldandoli superiormente, allora si trova che *essi sono pessimi conduttori*. Infatti, se si riempie d'acqua un bicchiere la cui parete laterale, a poca distanza dalla bocca, è attraversata da un termometro il cui bulbo sia immerso nel liquido (fig. 7), indi si versa su questo uno straticello di etere, e lo si accende, si vede che il termometro inferiore non dà segno di innalzamento della temperatura.

Egli è ben vero che in questo caso la fiamma sollevantesi non può guari riscaldare il liquido sottostante. Per fare un'esperienza più concludente converrebbe riscaldare la superficie del liquido con una fiamma a gas, o con un recipiente contenente olio caldo. Ma anche in questo caso la propagazione del calore è debolissima.

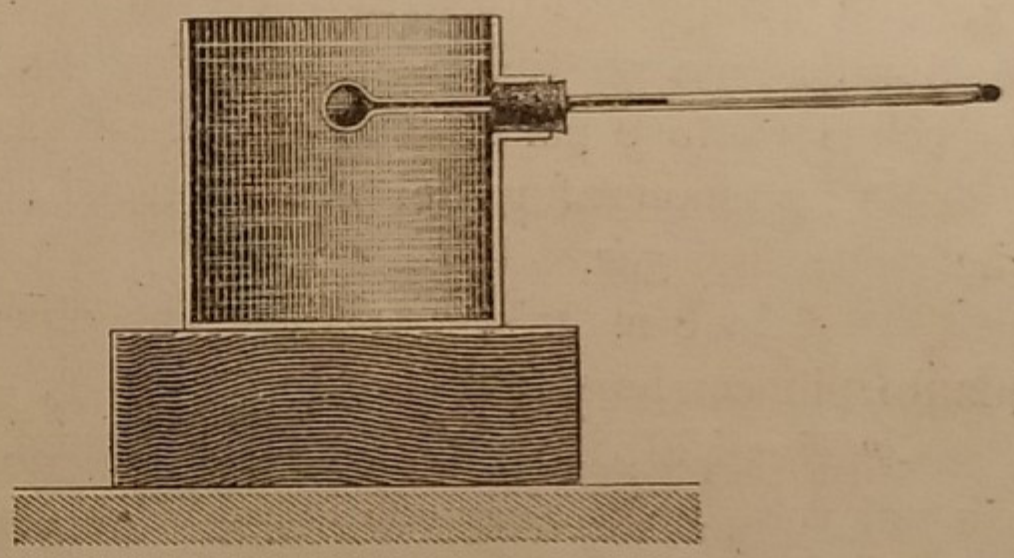


Fig. 7.

Il che si può anche provare, mettendo dell'acqua a 0° in una campanella di vetro alquanto lunga e poi immergendovi un pezzo di ghiaccio avvolto da reticella metallica, affinchè stia al fondo; allora, riscaldando con una fiamma la superficie dell'acqua, la si può fare bollire prima che il ghiaccio sia fuso.

Con tutto ciò, *la conduttività dei liquidi è posta fuori di dubbio;* e Despretz (1833) la dimostrò, riempiendo di liquido un recipiente cilindrico di legno, alto metri 1,50, nella cui parete laterale erano applicati più termometri l'uno sotto all'altro, col bulbo immerso nel liquido, e riscaldando quest'ultimo mediante una scatola metallica posta superiormente a mo' di coperchio, entro la quale faceva circolare olio caldo.

7. Conduttività dei gas. — Gli aeriformi conducono il calore ancora meno dei liquidi, ma come questi si riscaldano per circolazione o trasporto, quando ricevono il calore inferiormente.

Per *dimostrare la cattiva conduttività dei gas*, si può fare il seguente esperimento. Si tiene obliquamente su di una fiamma

una campanella di assaggio capovolta, in modo da riscaldare la estremità superiore chiusa, mentre l'estremità inferiore aperta si chiude parzialmente col dito. Si trova così che questo in contatto coll'aria del tubo, riscaldata nella parte superiore, non sente punto calore. Dunque l'aria non è conduttrice del calore. Lo stesso è degli altri gas.

8. Esperienze sulla conduttività dei gas. — Si credette dapprima che la conduttività dei gas fosse nulla, e che il calore potesse propagarsi nei medesimi solo per circolazione o trasporto; ma siccome il raffreddamento di un medesimo corpo non avviene con eguale celerità nei diversi gas, per es., un filo di platino percorso da una corrente elettrica, diviene già rovente nell'anidride carbonica, mentre rimane oscuro nel gas idrogeno, Magnus (1861) concluse che essi debbono possedere qualche conduttività.

Egli studiò questa mediante un tubo di vetro verticale e chiuso, nel quale vi era un termometro protetto dall'irradiazione; riscaldò il gas superiormente mediante acqua mantenuta a 100°. Osservando il termometro in questo tubo, dapprima vuoto e poi ripieno di diversi gas, egli trovò che:

1° La temperatura del termometro si eleva maggiormente nell'idrogeno che negli altri gas.

2° Essa è maggiore nell'idrogeno che nel vuoto, e tanto più elevata quanto più condensato è questo gas.

3° Negli altri gas diversi dall'idrogeno, la temperatura è meno elevata che nel vuoto, e tanto meno quanto più i gas sono condensati.

Dal che, secondo Magnus, non si deve conchiudere che essi non abbiano punto conduttività, ma solo che essi assorbono l'irradiazione laterale del termometro più che il vuoto.

Secondo Stefan la conduttività dell'aria è 20000 volte minore di quella del rame.

Secondo Kundt e Warburg (1875) la conduttività dell'idrogeno è 7,1, e quella dell'anidride carbonica è 0,59 di quella dell'aria.

Codesti risultati sono pienamente d'accordo colla teoria meccanica dei gas (vol. I, § 63), perchè s'intende come quelli la cui velocità molecolare è maggiore debbono propagare meglio il calore, e perciò, che la conduttività deve essere massima nell'idrogeno la cui velocità molecolare è massima.

La quale rimarchevole conduttività dell'idrogeno pel calore sarebbe una conferma della congettura cui conducono altre sue proprietà fisiche e chimiche, cioè che *questo corpo sia un metallo.*

9. Fenomeni dipendenti dalla conduttività dei corpi pel calore. — La nostra impressione di calore o di freddo nel contatto coi corpi dipende non solo dalla loro temperatura, ma ancora della loro conduttività. I buoni conduttori con bassa temperatura pigliano a noi più calore che i cattivi conduttori, perciò

sembrano più freddi; i buoni conduttori con elevata temperatura partecipano a noi più calore, e perciò ci appaiono più caldi che i cattivi conduttori di eguale temperatura. — Noi possiamo resistere nell'aria fredda, ma non nell'acqua di pari temperatura; l'aria a 33° ci appare assai calda, perchè toglie a noi che abbiamo la temperatura di 37° poco calore; invece un bagno d'acqua a 33° nei calori estivi ci appare ancora rinfrescante, perchè ci sottrae più calore. Il mercurio a 50° ci dà la stessa impressione di calore che l'acqua a 60°; parimenti il legno a 80° e l'aria a 120°.

10. Proprietà delle reticelle metalliche. — Se si tiene una tela metallica, piuttosto fitta, su di una fiamma a gas (figura 8), questa rimane smozzata, perchè il metallo prende al gas il calore necessario per la sua combustione.

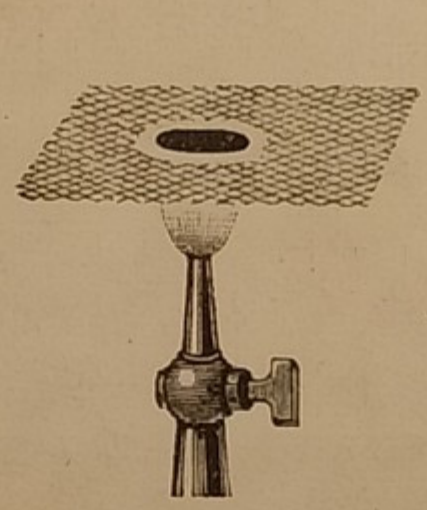


Fig. 8.

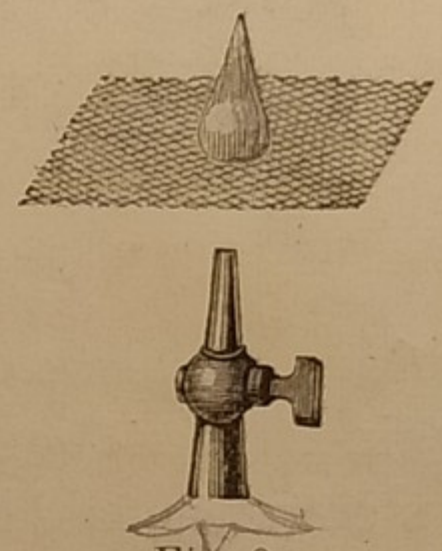


Fig. 9.

E se si mette la tela sulla corrente gasosa non accesa, si può poi accendere quella sopra la tela, senza che la combustione si comunichi al gas sottostante (fig. 9).

11. Lampada di sicurezza. — Su tali proprietà delle tele metalliche è fondata la lampada di sicurezza dei minatori, di Davy, la quale consiste in una lampada ad olio (fig. 10 e 11), la cui fiamma è circondata da un cilindro di reticella metallica. Per trattenere meno la luce della fiamma, oggidì questa si circonda con un cilindro di vetro, e la reticella metallica si dispone superiormente al medesimo. Ora, se nella miniera si sviluppa gas idrogeno carbonato che coll'aria forma un miscuglio tonante, questo pei fori della reticella può bensì venire in contatto colla fiamma e accendersi, ma la combustione non può propagarsi all'esterno, e così è evitata l'esplosione.

L'azione della lampada di Davy si può dimostrare nella scuola col seguente esperimento. Si versa un poco di etere solforico in un gran recipiente cilindrico di vetro, e vi si agita l'etere per sviluppare vapori di questo liquido. Poi vi si introduce la detta lampada di Davy, dopo averla accesa e chiusa; si vede così

prodursi una fiamma in tutta la capacità interna della lampada, dovuta evidentemente alla combustione del vapore di etere che vi è penetrato per i fori della rete, ma la fiamma non attraversa questa, e la combustione non si propaga al vapore d'etere esterno alla lampada.

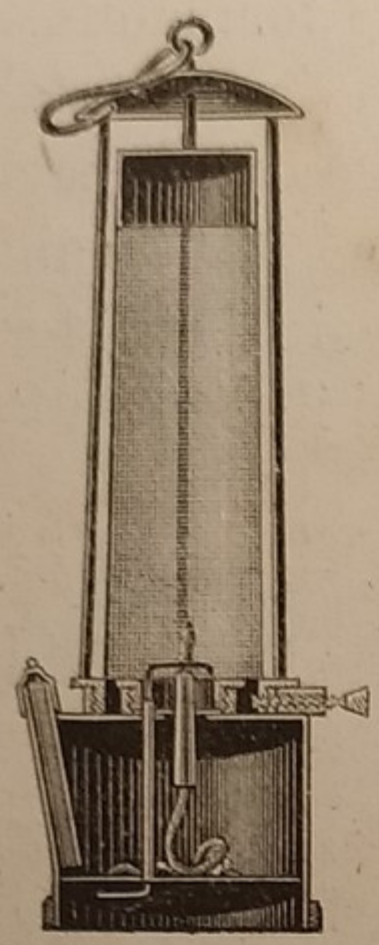


Fig. 10.

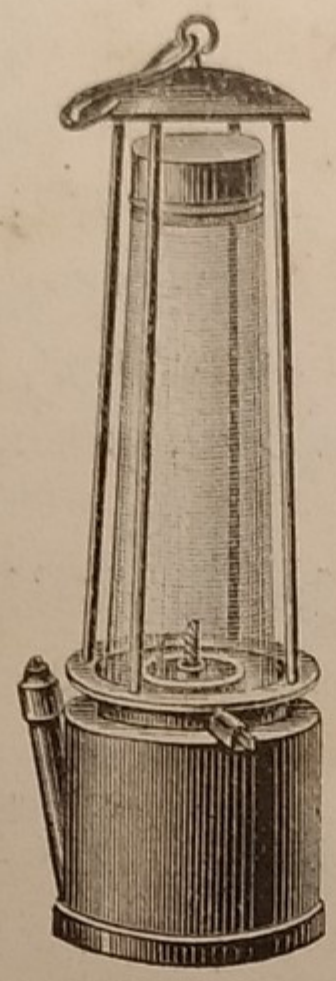


Fig. 11.

12. Applicazioni della conduttività dei corpi pel calore. — Numerose sono le applicazioni della conduttività nelle arti, e nella vita comune. Gli oggetti che si vogliono proteggere dal raffreddamento, o dal riscaldamento, si circondano con pessimi conduttori, come sono le sostanze organiche, costituite da filamenti (lana, pellicce, ecc.) e le sostanze polverulenti (nero-fumo, caligine, cenere, segatura di legno), perchè in tali corpi trovansi insterstizi pieni d'aria, che è il peggior conduttore, e che in tali casi non può riscaldarsi per circolazione o trasporto, essendo essa imprigionata nei detti interstizi.

Il ghiaccio si conserva nella state avvolgendolo nella lana, nella segatura di legno, o in altro corpo in polvere, perchè l'aria interposta impedisce l'arrivo del calore esterno sul medesimo.

Così pure, noi ci ripariamo dal freddo impedendo la dispersione del calore del nostro corpo mediante abiti di lana o pellicce; la neve, che per la sua costituzione a fiocchi è pure un cattivo conduttore, protegge le piante, e sovratutto il suolo, dal soverchio raffreddamento nell'inverno.

Si impedisce assai la dispersione del calore di una camera mediante le doppie invetriate, perchè lo strato di aria interposto è cattivissimo conduttore e non può circolare all'esterno.

Gli oggetti di metallo che debbono venir riscaldati si muniscono di manubrio di legno, perchè questo è un cattivo conduttore. Invece un sottile filo metallico si può tenere impunemente in mano ad un capo mentre se ne arroventa l'altro perchè perde

più abbondantemente il calore per l'irradiazione e pel contatto dell'aria, crescendo colla divisione della materia la superficie irradiante a parità di massa.

§ 4. Dilatazione dei solidi.

1. Variazioni del volume pel calore. — Si sono già esposte (vol. I, § 7) le prove sperimentali del fatto, che: *pel calore i corpi si dilatano e pel freddo si restringono.*

Ciò avviene, secondo la teoria meccanica del calore, perchè col crescere della temperatura aumenta la velocità e l'ampiezza dei movimenti molecolari e la distanza delle molecole.

Questo aumento poi della distanza fra le molecole nasce da una trasformazione del calore che si somministra al corpo in *lavoro interno*, quando si deve vincere l'attrazione molecolare, siccome succede nei corpi solidi e nei liquidi; ed in *lavoro esterno* quando si deve vincere specialmente una pressione esterna, per es., la pressione atmosferica, come nella dilatazione dei gas. Ordinariamente si debbono eseguire ambidue questi lavori.

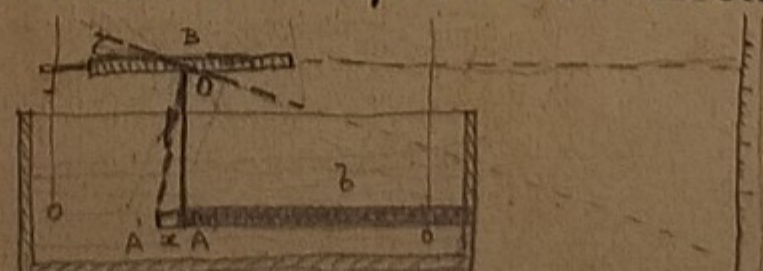
Ora importa studiare le leggi della dilatazione dei solidi, dei liquidi e dei gas, le quali sono assai importanti per le loro applicazioni nella scienza e nelle arti.

Cominceremo dalla dilatazione dei solidi che forma l'argomento di questo paragrafo.

2. Dilatazione lineare e cubica. — Nei corpi solidi si distingue la *dilatazione lineare*, che è quella che avviene secondo una sola dimensione, e la *dilatazione cubica*, che è quella che avviene secondo le tre dimensioni, ovvero l'aumento di volume.

3. Coefficienti di dilatazione. — *Chiamasi coefficiente di dilatazione lineare l'aumento di lunghezza che subisce l'unità di lunghezza quando la temperatura aumenta di* 1°; *e coefficiente di dilatazione cubica l'aumento di volume che subisce l'unità di volume quando la temperatura cresce di* 1°.

Per es. rappresentando con δ il coefficiente di dilatazione lineare, pel ferro si ha: $\delta = 0{,}000\,011$ circa; cioè una sbarra di



ferro, lunga 1 metro a 0°, passando alla temperatura di 1° diviene 1,000 011 *m.*, ovvero si allunga poco più di 0,01 *mm.*

4. Dilatazione regolare e irregolare. — Se il coefficiente di dilatazione rimane costante col crescere della temperatura, la dilatazione si dice *regolare* od *uniforme*, e nel caso contrario si dice *irregolare* o *varia.*

In generale, nei corpi solidi e liquidi la dilatazione è irregolare, e i coefficienti di dilatazione crescono col crescere della temperatura, cioè a misura che essi si avvicinano al cangiamento di stato. Ma per i metalli l'aumento del coefficiente fra 0° e 100° è così piccolo, che la dilatazione, nei detti limiti, si può ritenere come costante o regolare: invece per l'acqua, fra 0° e 100°, è varia.

5. Coefficiente medio e coefficiente vero. — Poichè, in generale, i coefficienti di dilatazione non sono costanti, ma crescono col crescere della temperatura, si chiama *coefficiente medio*, lineare o cubico, fra due limiti di temperatura, il coefficiente che si ottiene dividendo l'aumento di lunghezza o di volume dell'unità lineare, o di volume, pel numero dei gradi compresi fra quei limiti. Per esempio il precedente valore $\delta = 0{,}000\ 011$ esprime il coefficiente medio del ferro da 0° a 100° (secondo Borda).

Quando poi l'intervallo fra le due temperature si riduce ad 1°, allora si ha il *coefficiente vero* per la temperatura inferiore. Per es. il coefficiente vero a 40° coincide coll'allungamento da 40° a 41°, perchè la variazione di esso in questo intervallo è così piccola da sfuggire a qualunque misura.

6. Formole della dilatazione lineare e cubica. — Mediante il coefficiente di dilatazione, conoscendo la lunghezza di un corpo ad una data temperatura si può calcolare la sua lunghezza ad un'altra temperatura qualunque.

Infatti è evidente dapprima che si ha l'eguaglianza:

lunghezza a t^0 = lunghezza a 0^0 + allungamento da 0^0 a t^0;

ovvero rappresentando

con l_t la lunghezza a t^0,
» l_0 » a 0^0,
» a l'allungamento da 0^0 a t^0,

si può scrivere: $$l_t = l_0 + a \qquad \ldots (1).$$

Ora, rappresentando con δ il coefficiente medio di dilatazione lineare fra 0^0 e t^0, è evidente che, se

la lunghezza 1 per 1^0 cresce di δ,
la lunghezza 1 per t^0 cresce di $\delta\, t$,
e la lunghezza l_0 per t^0 cresce di $l_0\, \delta\, t$;

dunque l'allungamento a da 0^0 a t^0 è $a = l_0\, \delta\, t$.

Sostituendo questo valore di a nella (1) risulta la formola generale:

$$l_t = l_0 + l_0\, \delta\, t \qquad \ldots\ldots (2).$$

Ponendo in evidenza il fattore comune l_0 nel 2° membro, si ha:

$$l_t = l_0 (1 + \delta\, t) \qquad \ldots\ldots (3).$$

Il binomio, compreso fra parentesi, pel quale bisogna moltiplicare la lunghezza a 0^0 per avere quella a t^0, si chiama *binomio di dilatazione.*

La formola (3) contiene 4 quantità, delle quali date 3 si può determinare la 4ª.

Per esempio:
$$\delta = \frac{l_t - l_0}{l_0\, t} \qquad \ldots\ldots (4).$$

Con ragionamenti analoghi si ricavano le formole per la dilatazione cubica.

Cioè, rappresentando rispettivamente

con t la temperatura,
» V_t il volume di un corpo a t^0,
» V_0 » dello stesso a 0^0,
» Δ il coefficiente medio di dilatazione cubica,

si ottiene:
$$V_t = V_0 (1 + \Delta\, t) \qquad \ldots\ldots (5).$$

d'onde si ricava:

$$\Delta = \frac{V_t - V_0}{V_0\, t} \qquad \ldots\ldots (6).$$

7. Metodo generale per determinare i coefficienti di dilatazione lineare dei solidi. — Per ottenere il coefficiente di dilatazione lineare dei solidi, che si possono ridurre in sbarre, se ne misura la lunghezza a 0^0; poscia si portano in un bagno ad una temperatura determinata t, e se ne misura nuovamente la lunghezza. La differenza fra la seconda lunghezza e la prima rappresenta evidentemente l'allungamento per l'aumento totale della temperatura e per la lunghezza totale della sbarra. Per avere il coefficiente medio, cioè l'allungamento che corrisponde ad un solo grado e ad un'unità di lunghezza, basta dividere l'allungamento ottenuto fra 0^0 e t^0 per il numero dei gradi del riscaldamento e per il numero dei metri di lunghezza della sbarra, come indica la formola (4).

Quando i solidi non si possono ridurre in sbarre, come avviene, per es., pei cristalli, se ne determina il coefficiente di dilatazione cubica, dal quale poi, come vedremo, si può ricavare quello di dilatazione lineare.

8. Coefficienti medii di dilatazione lineare di parecchi solidi per 1°, fra 0° e 100°.

	δ Valori, minimo e massimo, ottenuti da diversi esperimenti	
Platino	0,000 007 39 (Froment)	0,000 009 07 (Fizeau)
Oro	.14 01 (Ellicot)	.15 54 (Laplace e Lavoisier)
Piombo	.27 86 (Daniell)	.29 54 (Prinsep)
Argento	.19 10 (Lavoisier)	.20 83 (Troughton)
Rame	.16 98 (Fizeau)	.17 84 (Borda)
Ottone	.18 23 (Ellicot)	.19 33 (Smeaton)
Ferro	.11 56 (Borda)	.14 40 (Troughton)
Stagno	.19 38 (Laplace e Lavoisier)	.22 88 (Smeaton)
Zinco fuso	.29 42 (Smeaton)	.29 68 (Horner)
— battuto	.31 08 (Id.)	.34 07 (Struve)
Acciaio	.10 74 (Horner)	.11 90 (Troughton)
— temperato	.12 25 (Smeaton)	.13 75 (Berthoud)
Diamante	.1 32 (Fizeau)	
Flint	.8 12 (Laplace e Lavoisier)	.8 72 (Laplace e Lavoisier)
Vetro senza piombo	.8 61 (Doulong e Petit)	.9 18 (Id.)
Marmo bianco	.8 49 (Destigny)	.10 72 (Dunn e Sang)
Mattoni	.4 92 (Adie)	.3 50 (Adie)
Ghiaccio (da —17°,5 a —1°)	.51 3	.52 8
Granito	.7 9	.9 0

Le differenze che si notano nei coefficienti ottenuti da diversi sperimentatori dipendono non solo dai diversi metodi, ma ancora dalla differente purezza e struttura delle sostanze da loro esplorate. Quindi, nel fare uso di tali coefficienti, conviene pigliare la media fra i valori estremi notati nella precedente tabella.

È notevole che i metalli più dilatabili sono pure i più fusibili.

9. Le materie organiche, come la carta, il cuoio, il legno, presentano **eccezioni apparenti alla legge della dilatazione** perchè col riscaldamento si contraggono per la perdita dell'acqua che contengono; ma quando sono secchi si comportano come gli altri. Invece l'argilla, anche perfettamente secca, si contrae progressivamente pel calore, perchè la silice che contiene si vetrifica. Su questa proprietà è fondato il *pirometro* di Wedgwood per misurare le elevate temperature delle fornaci.

10. Dilatazione dei corpi cristallizzati. — La dilatazione dei corpi cristallizzati nei sistemi diversi da quello monometrico, o cubico, non è la stessa nelle direzioni dei tre assi, perchè la struttura non è identica in ognuna di queste direzioni.

Anzi, per certi intervalli, uno dei coefficienti può essere negativo, cioè può avvenire accorciamento in una direzione, mentre avviene allungamento nelle altre due; e la contrazione può perfino prevalere, per modo che il volume del cristallo diminuisce. Tale è il caso del ioduro d'argento, secondo Fizeau.

11. Rapporto fra il coefficiente di dilatazione cubica e quello di dilatazione lineare. — Nei corpi solidi omogenei, o come si dice *isotropi*, cioè costituiti egualmente in tutte le direzioni, la dilatazione lineare è la stessa in ogni verso, e perciò, tra i due coefficienti di dilatazione, lineare e cubico, esiste una relazione semplicissima, cioè: *il coefficiente di dilatazione cubica è circa triplo del coefficiente di dilatazione lineare.*

Infatti, consideriamo, per semplicità, un cubo avente per lato l'unità lineare a 0^0, e quindi il volume 1 alla detta temperatura. Aumentando questa di 1^0, il lato del cubo diviene $1 + \delta$, e quindi il suo volume diviene

$$(1 + \delta)^3 = 1 + 3\,\delta + 3\,\delta^2 + \delta^3.$$

Ora, siccome δ è sempre una frazione piccolissima, con almeno 4 zeri dopo la virgola, consegue che il quadrato δ^2 ha almeno 8 zeri, e il cubo δ^3, 12 zeri, dopo la virgola; perciò tenendo conto delle sole 8 prime cifre decimali, poichè gli errori inevitabili nelle determinazioni sperimentali non permettono di rispondere dell'esattezza delle cifre oltre quel limite, consegue che il 3° e 4° termine, contenenti la 2^a e 3ª potenza del coefficiente di dilatazione lineare, sono trascurabili, e quindi, che l'aumento di volume dell'unità di volume, od il coefficiente di dilatazione cubica, è solo espresso da $3\,\delta$, cioè è triplo del coefficiente di dilatazione lineare.

Quindi rappresentando con Δ il coefficiente di dilatazione cubica si ha $\Delta = 3\,\delta$.

12. Determinazione dei coefficienti di dilatazione cubica dei solidi. — Quando questi si possono ridurre in sbarre, si determina coll'esperienza il coefficiente di dilatazione lineare, e moltiplicando per 3 si ottiene quello di dilatazione cubica.

Ma sovente i corpi, o non si hanno in quantità bastevole, o non si possono foggiare in sbarre; allora si determina invece, coll'esperienza, dapprima il coefficiente di dilatazione cubica, e poi lo si divide per 3 per avere il coefficiente lineare.

13. Peso specifico di un corpo a diverse temperature. — Conoscendo il peso specifico p_0 di un corpo a 0^0 deducesi facilmente il suo peso specifico p_t a t^0 ed inversamente.

Infatti se P è il peso del corpo, p il suo peso specifico, V il suo volume, si ha, a qualunque temperatura, la nota relazione $P = V\,p$ (vol. I pag. 33).

Quindi:

$$P = V_t\,p_t = V_0\,p_0.$$

Ma:

$$V_t = V_0\,(1 + \Delta\,t).$$

Quindi:

$$V_0 (1 + \Delta t). p_t = V_0 p_0;$$

d'onde:

$$p_0 = p_t (1 + \Delta t);$$

oppure:

$$p_t = \frac{p_0}{1 + \Delta t}$$

14. Applicazioni delle dilatazioni dei solidi. — I corpi fragili e cattivi conduttori del calore, siccome gli oggetti di vetro, maiolica, porcellana, terra cotta, riscaldati inegualmente nella loro massa facilmente si rompono, perchè la parte riscaldata dilatandosi vince la coesione di quella non riscaldata, e per evitare la rottura conviene che il riscaldamento sia lento e generale.

Avviene talvolta che i tappi di vetro smerigliato non si lasciano estrarre dalla bocca del recipiente cui sono applicati, ma vi si riesce sovente riscaldando leggiermente il collo con una fiamma o anche solo strofinandolo colla mano.

La dilatazione e contrazione dei metalli impiegati nelle costruzioni essendo differente da quella delle pietre, cementi e legni, quelli non debbono essere fissati a questi, ma disposti in modo da potersi allungare e accorciare senza che esercitino pressione o trazione sui medesimi, se no possono avvenire rotture e spostamenti.

Per es.. le grate dei fornelli non debbono appoggiare contro la muratura, affinchè questa non venga spostata. Nelle tettoie di zinco, le lamine non debbono essere inchiodate sulla travatura, perchè non si rompano pel freddo e non si incurvino pel caldo, ma debbono essere incanalate in apposite guide ove possano scorrere. I pezzi delle rotaie delle strade ferrate non debbono essere a contatto, se no non potrebbero allungarsi nell'estate senza uscire dai loro cuscinetti. Si calcola infatti che per una lunghezza di 100 *km.* l'allungamento dall'inverno all'estate è più di 70 metri.

La contrazione dei corpi pel raffreddamento spiega il fenomeno che presentano le lagrime bataviche, che sono goccie di vetro in forma di piccola pera, con un peduncolo sottile e allun-

gato, le quali si ottengono lasciando cadere le gocce di vetro fuso nell'acqua fredda, ed hanno la proprietà che, rompendo la punta del loro peduncolo, vanno repentinamente in frantumi, con tale violenza che se sono immerse nell'acqua di un fiasco possono determinarne la rottura.

Il che si spiega osservando che l'esterno della goccia si è raffreddato pel primo, imprigionando la massa interna non ancora solidificata, la quale poscia raffreddandosi alla sua volta si è contratta esercitando una trazione sull'involucro esterno, permodochè tutte le molecole si trovano in uno stato di tensione che determina la frantumazione di tutta la massa, quando l'equilibrio viene rotto in un punto.

Un fenomeno analogo avviene coi *fiaschi di Bologna*, che sono di vetro assai grosso, e raffreddati rapidamente dopo essere stati soffiati. La piccolissima scalfittura prodotta da un grano di sabbia che si lascia cadere dentro basta a ridurli in pezzi.

15. Forza di dilatazione e contrazione dei solidi. — *La forza colla quale un corpo si contrae nel raffreddarsi è eguale alla trazione necessaria per produrne l'allungamento.* Per es., una sbarra di ferro richiede, per ogni $mm.^2$ di sezione, 1 *kg.* per un allungamento di 0,000 048 della sua lunghezza, e riscaldata di 100° si allunga di $0.000\,011\,56 \times 100 = 0{,}0012$ circa, cioè circa 25 volte di più, il che richiederebbe una forza di 25 *kg.* per ogni $mm.^2$ e di $25 \times 100 = 2500$ per $cm.^2$: perciò nel raffreddarsi di 100° esercita eguale trazione.

Si manifesta la ingente forza di contrazione di una verga metallica coll'apparecchio della fig. 12. Si prende una sbarra quadrata C, di ferro battuto, grossa 15 *mm.* e lunga 25 *cm.*, con un foro ad orlo tagliente ad un'estremità E, e fatta a vite all'estremità E, munita di una madrevite FF. La si dispone nel robusto sostegno AB di ferro fuso, e si infila nel foro D una verga di ghisa *a b* (fig. 13), grossa 9 *mm*, appoggiata contro i due spigoli del sostegno B B; poi si riscalda la sbarra con una o più fiamme sottostanti e a misura che si allunga si fa avanzare la madrevite F F; lasciando poscia raffreddare la sbarra avviene la rottura della verga *a b*.

La forza di contrazione dei metalli nel raffreddamento venne utilizzata per rimettere a posto dei muri spostati. Per

esempio, nel Conservatorio delle arti e mestieri di Parigi i muri laterali di una galleria, che si erano allontanati dalla verticale sotto la pressione della volta, si fecero attraversare da sbarre di ferro munite di madreviti esterne, che venivano avvicinate ai muri a misura che quelle per riscaldamento si allungavano. Quindi esse nel loro successivo raffreddamento riavvicinarono i muri.

16. Pendoli a compensazione. — Altra importante applicazione delle leggi della dilatazione si fa nei *Pendoli a compensazione*. Si sa che la durata delle oscillazioni del pendolo cresce colla radice quadrata della sua lunghezza; ossia della distanza

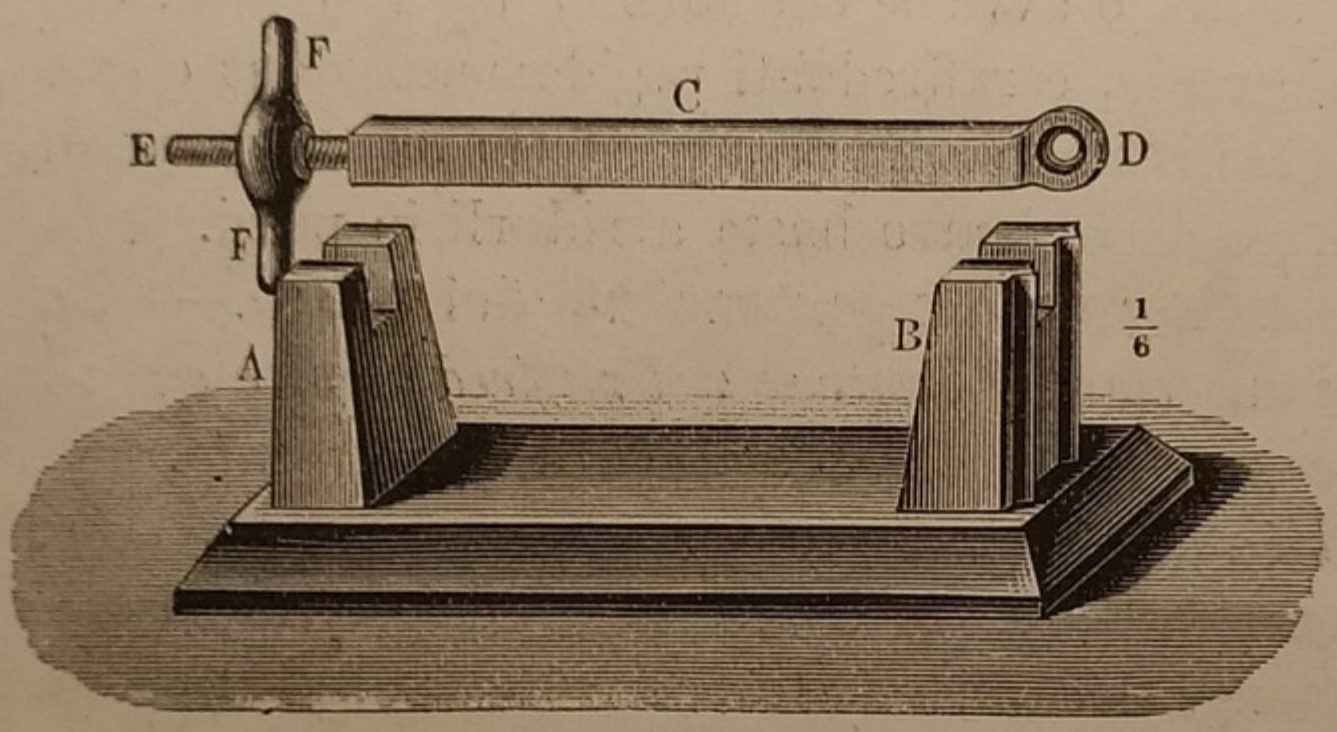


Fig. 12.

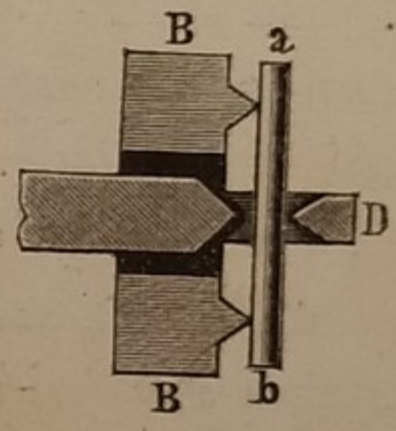


Fig. 13.

fra il punto di sospensione ed il centro di oscillazione (vol. I, pag. 98). Ora, col crescere della temperatura, cresce la detta lunghezza per effetto della dilatazione dell'asta del pendolo, e quindi cresce pure la durata delle oscillazioni. Il contrario accade quando la temperatura diminuisce. Quindi il pendolo regolatore di un orologio accelera le sue oscillazioni nell'inverno e le ritarda invece nell'estate, se non è munito di un artifizio detto *compensazione*.

Uno dei sistemi di compensazione più usati è quello a telaio, immaginato da Harrison, e rappresentato dalla fig. 14. La lente L del pendolo invece di essere sospesa mediante una sola asta al punto di sospensione, è sospesa mediante una serie di aste di ferro e ottone, o meglio di ferro e zinco, disposte nel

seguente modo. Ad una corta astina di ferro (F) è attaccata trasversalmente una lastra orizzontale (A A) dalle cui estremità discendono due aste di ferro (F′, F′), unite fra loro inferiormente da un'altra lastra trasversale (C C), parallela alla superiore; su questa lastra inferiore si innalzano due aste di zinco (Z, Z), che hanno le loro estremità superiori fissate ad una terza lastra orizzontale (B B); infine dal punto di mezzo di quest'ultima si abbassa l'asta di ferro (F″) che passa liberamente in un foro (T) praticato nella lastra inferiore (C C) e sostiene la lente.

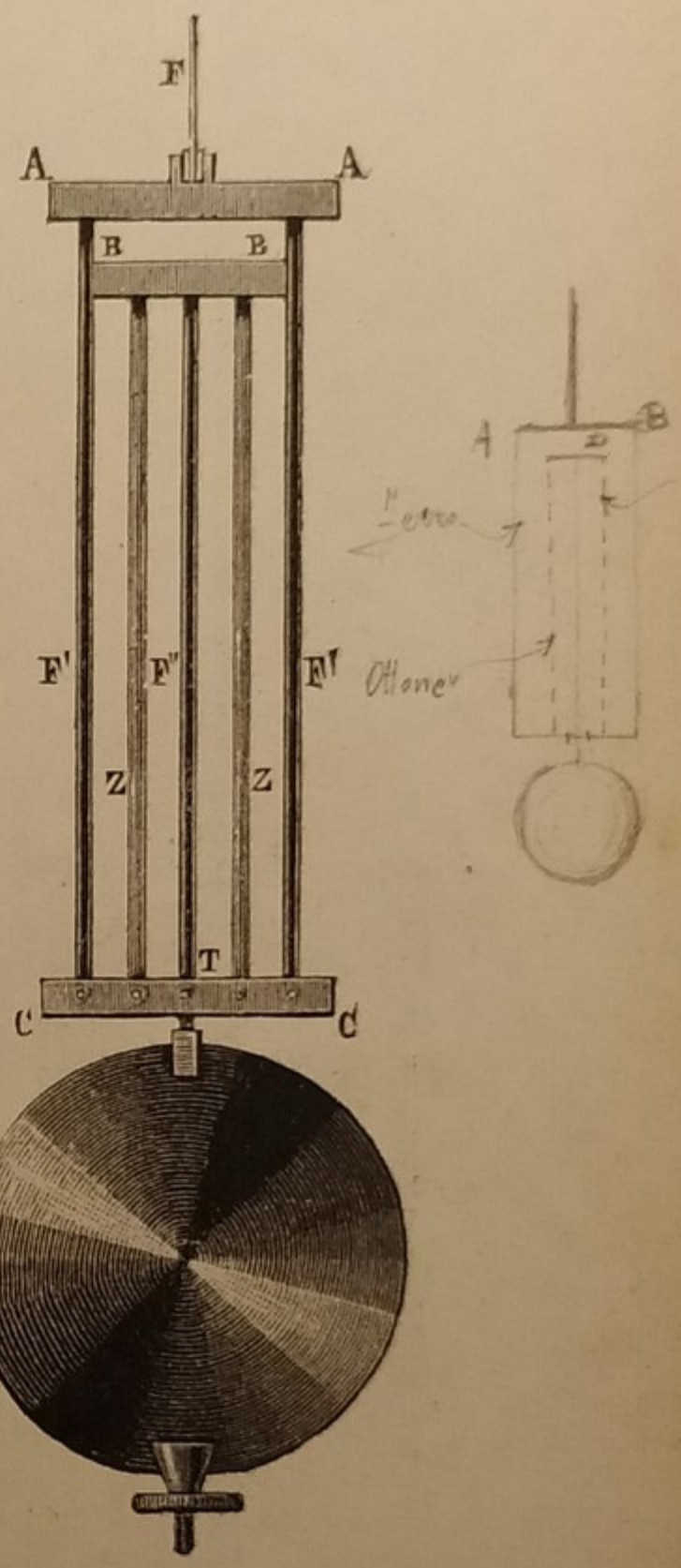


Fig. 14.

Ciò posto, dal modo con cui le aste verticali sono collegate fra loro mediante le lastre orizzontali, si vede che l'allungamento delle aste di ferro non può effettuarsi che dall'alto in basso, mentre invece quello delle aste di zinco si effettua dal basso in alto; e se l'allungamento delle seconde è eguale a quello delle prime, la lunghezza del pendolo rimane costante.

Il calcolo dimostra che questa condizione è verificata, allorchè *le lunghezze complessive delle verghe dei due metalli, ferro e zinco, sono in ragione inversa dei loro coefficienti di dilatazione.*

In ogni caso non si ottiene con tali artifizi che una compensazione approssimativa, la quale si completa movendo la lente del pendolo con una vite sottostante.

Infine, è da notare che nella maggior parte dei pendoli la lente è sospesa mediante un telaio, il quale ha solo l'apparenza, ma non è realmente compensatore.

Compensatore Graham. — Questo consiste in una verga di ferro che sostiene inferiormente due vaschette cilindriche di vetro contenenti mercurio (fig. 15). L'asta di ferro dilatandosi si allunga dall'alto in basso, e abbassa il mercurio; ma questo si dilata dal basso in alto, cosicchè rialza il centro di gravità. Per

tentativi si può, in pratica, regolare la lunghezza dell'asta e la quantità di mercurio in modo da produrre ad ogni temperatura una esatta compensazione.

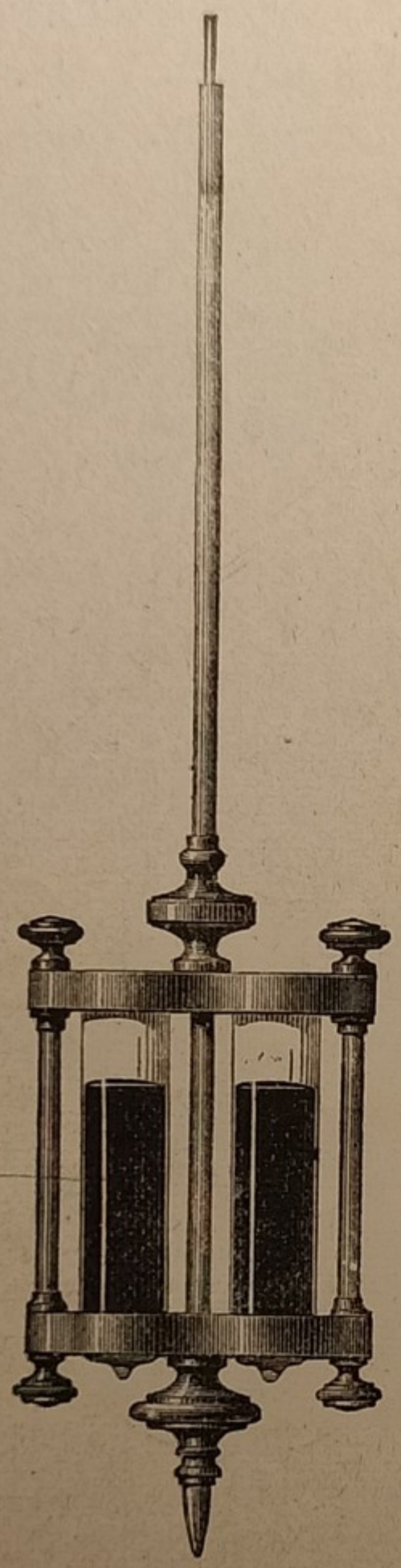


Fig. 15.

17. Lamine compensatrici. — Le lamine compensatrici sono lastre bimetalliche (fig. 16). cioè formate di due lamine di metalli disegualmente dilatabili, per es., di zinco e ferro, o di ottone e ferro, ecc., saldate insieme. Esse si costruiscono in modo che sieno diritte alla temperatura media ordinaria [come si vede in (2)] per es., a 10°; allora alle temperature superiori ed inferiori esse si incurvano ad arco, in modo che il metallo più dilatabile si trova esternamente (3) od internamente (1) secondochè la temperatura cresce ovvero diminuisce, e ciò perchè nel dilatarsi la lamina più dilatabile prende, nel primo caso una lunghezza maggiore, e nel secondo caso una lunghezza minore.

Fig. 16.

Le lamine compensatrici servono pure alla compensazione dei pendoli e degli oriuoli. La fig. 17 rappresenta il pendolo a compensazione di Martin. È un pendolo alla cui asta è applicata trasversalmente una lamina bimetallica che porta due palle pesanti. Il metallo più dilatabile essendo al di sotto, quando la temperatura sale sopra quella media a cui le lamine sono diritte il sistema si incurva colla concavità verso l'alto, cosicchè una parte della massa del pendolo viene avvicinata al punto di sospensione in modo da compensare l'allontanamento dovuto all'allungamento dell'asta del pendolo. Il contrario avviene nel raffreddamento indicato dalla figura.

Le lamine compensatrici servono anche ad ottenere la compensazione negli oriuoli più perfetti, che diconsi *cronometri*. Il

regolatore negli oriuoli si chiama *bilanciere*, e consiste in un anello metallico portato da tre raggi (fig. 18), oscillante sotto l'azione di una molla spirale sottostante. Ora, coll'aumento della temperatura aumenta la durata delle oscillazioni del bilanciere, ed inversamente. In questo caso si ottiene la compensazione con delle lamine bimetalliche fisse ai raggi, e che

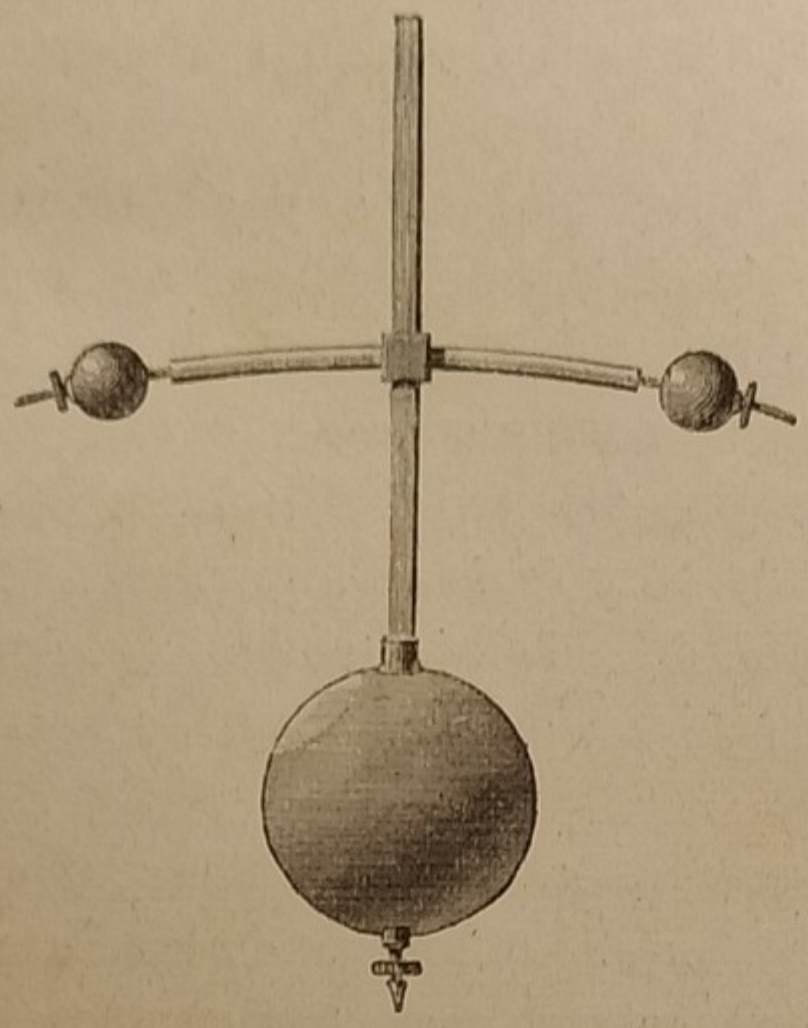


Fig. 17.

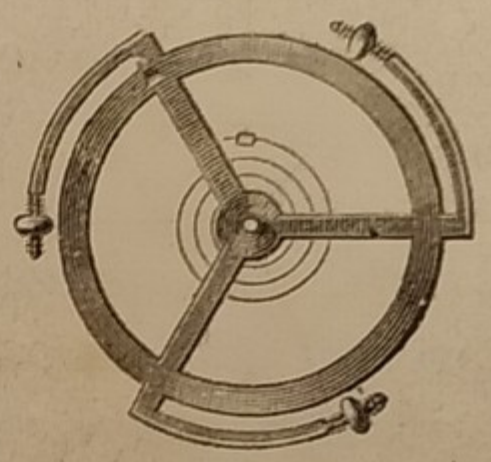


Fig. 18.

portano ai capi piccole masse metalliche. Per l'aumento della temperatura le lamine bimetalliche si incurvano maggiormente, e le loro masse si avvicinano al centro, in modo da compensare l'allungamento del raggio del bilanciere.

§ 5. Dilatazione dei liquidi.

1. Dilatazione assoluta ed apparente. — Siccome i liquidi debbono essere contenuti in recipienti aventi le tre dimensioni, e che col riscaldamento anch'essi si dilatano, così in essi si considera ordinariamente solo la dilatazione cubica, e la si distingue in *apparente* e *assoluta*.

La *dilatazione apparente* è l'aumento di volume che presenta un liquido chiuso in un recipiente che si dilata meno di esso. Tale è la dilatazione del mercurio e dell'alcool nei termometri, nei quali il vetro si dilata meno del liquido. Ma se il bulbo fosse, per es., di ebanite, la quale sostanza, secondo Kohl-

rausch, ha un coefficiente di dilatazione superiore a quello del mercurio, questo scenderebbe continuamente col crescere della temperatura, come avviene nel primo istante in cui si immerge nell'acqua calda un pallone pieno di liquido, perchè il recipiente si dilata prima di questo.

La *dilatazione assoluta* è la dilatazione che presenterebbe un liquido se fosse contenuto in un recipiente che non si dilatasse, cioè l'aumento reale di volume del liquido.

Quindi, nei liquidi si distingue il *coefficiente di dilatazione apparente*, che è l'aumento apparente dell'unità di volume di un liquido in un recipiente, quando la temperatura aumenta di 1°, e il *cofficiente di dilatazione reale, od assoluta*, che è l'aumento reale dell'unità di volume di un liquido, quando la sua temperatura aumenta di 1°.

La dilatazione assoluta è eguale alla dilatazione apparente, più la dilatazione del recipiente. Il che si può considerare come evidente, ma si può anche dimostrare matematicamente.

2. Misura della dilatazione dei liquidi. — Si potrebbe quindi determinare la dilatazione assoluta di un liquido, misurandone la dilatazione apparente entro un recipiente di cui si conosce la dilatazione cubica, che si potrebbe determinare misurando dapprima la dilatazione lineare della materia di cui è costruito, e poi triplicandola. Facendo infine la somma di queste due dilatazioni, si avrebbe la dilatazione vera del liquido.

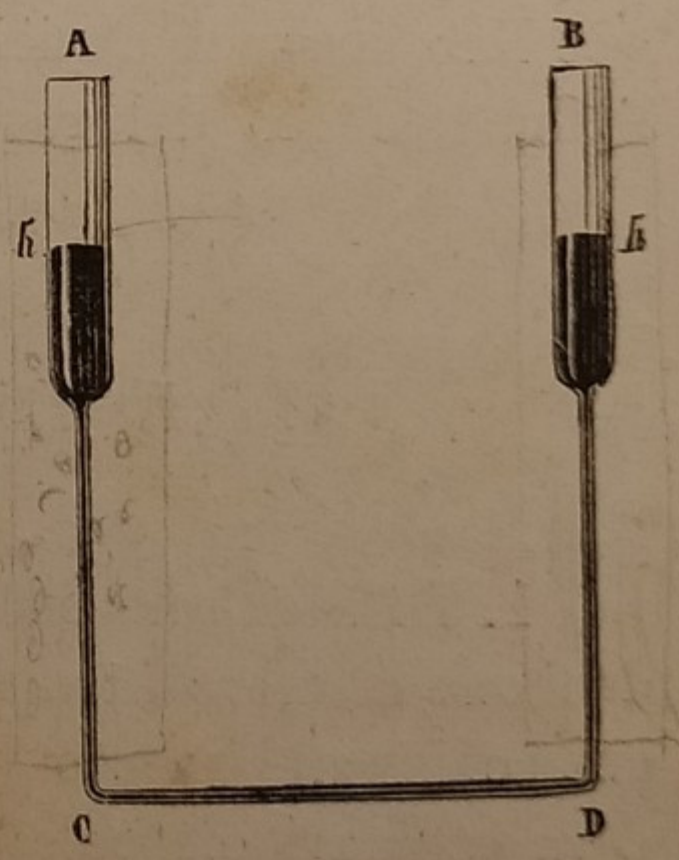


Fig. 19.

Ma questo metodo non è abbastanza esatto, perchè le varie specie di vetro, in cui si pongono i liquidi per osservare le dilatazioni, hanno coefficienti di dilatazione diversi; e anche costruendo una verga dello stesso vetro con cui è fatto il recipiente destinato a contenere il liquido, e determinando il coefficiente di dilatazione lineare di quella, non si è sicuri che valga pel recipiente, perchè le qualità fisiche del vetro dipendono anche dalla rapidità del raffreddamento dopo la fusione.

Quindi importava trovare un metodo per determinare la dilatazione assoluta di un liquido indipendentemente dalle variazioni di volume e di forma del recipiente che lo contiene. Tale è il seguente.

3. Metodo di Dulong e Petit. — Questi fisici riuscirono a determinare il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, con un metodo ideato

da Boyle, e fondato sul principio che: *quando due colonne verticali di un medesimo liquido, a due temperature diverse, si fanno equilibrio, le loro altezze sono in ragione inversa delle loro densità* (vol. I, pag. 172).

L'apparecchio consiste in due tubi verticali di vetro A, B (fig. 19) di diametro alquanto grande (2 *cm.*) per evitare l'influenza della capillarità, comunicanti fra loro inferiormente mediante un tubo di minore diametro, e contenenti mercurio. Se i due tubi e il liquido che contengono sono alla stessa temperatura, per es. a 0^0, le colonne liquide hanno la stessa altezza. Ma se il tubo A restando a 0^0, si riscalda il tubo B, siccome il tubo orizzontale C D è abbastanza piccolo per impedire la mescolanza del liquido dei due tubi, il livello del medesimo si eleverà in B al di sopra di quello di A, e rappresentando con h_0 e h_t le altezze delle due colonne liquide al di sopra dell'asse orizzontale del tubo, e con d_0 e d_t le densità del liquido nei due rami in cui le temperature sono 0^0 e t^0, si ha dal principio enunciato:

$$\frac{d_0}{d_t} = \frac{h_t}{h_0}.$$

Ma

$$\frac{d_0}{d_t} = 1 + \Delta\, t, \text{ (Vol. II pag. 24).}$$

e quindi:

$$\frac{h_t}{h_0} = 1 + \Delta\, t$$

d'onde si ricava il valore di Δ.

4. Coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio. — Dividendo le dilatazioni osservate fra 0^0 e le temperature 100^0, 200^0, 300^0, per il corrispondente intervallo di temperatura, Dulong e Petit ottennero i seguenti coefficienti medii Δ di dilatazione assoluta del mercurio per 1^0.

Fra 0^0 e 100^0: $\Delta = \frac{1}{5550} = 0,000\,180\,2.$

» 0^0 e 200^0: $\Delta = \frac{1}{5425} = 0,000\,184\,3.$

» 0^0 e 300^0: $\Delta = \frac{1}{5300} = 0,000\,188\,7.$

D'onde si scorge che *il coefficiente di dilatazione del mercurio non è costante, ma aumenta colla temperatura.*

In seguito, Regnault eseguì delle esperienze più perfette, le quali, mentre confermarono i risultati generali trovati da Dulong e Petit, diedero valori più precisi del coefficiente di dilatazione del mercurio.

Quindi nelle ricerche sperimentali si fa uso delle tavole dei coefficienti di dilatazione del mercurio alle varie temperature date da Regnault, le quali si trovano nei Trattati speciali.

Fig. 20.

5. Coefficiente di dilatazione cubica del vetro e di dilatazione assoluta dei liquidi. — Conoscendo la dilatazione assoluta del mercurio si può determinare la dilatazione cubica del vetro, osservando la sua dilatazione apparente entro un recipiente, e conosciuta quella del recipiente di vetro si può determinare quella assoluta dei liquidi in generale. A tal fine si usano due stromenti, cioè il *dilatometro* e il *termometro a peso.*

Il *dilatometro* di Kopp (1847) (fig. 20) è un cannello diviso in parti di eguale capacità, munito in basso di un grosso bulbo cilindrico, e in alto di un imbuto con tappo smerigliato, il quale impedisce l'evaporazione del liquido durante le esperienze.

Col medesimo si può determinare appunto la dilatazione cubica del recipiente fra 0^0 e 100^0, e quindi dalla dilatazione apparente anche quella assoluta dei liquidi.

Allo stesso risultato si giunge col *termometro a peso* di Dulong e Petit, che è un'ampollina di vetro che si prolunga in un cannello capillare ripiegato ed affilato all'estremità aperta (fig. 21).

Fig. 21.

6. Il risultato generale delle ricerche eseguite intorno alla dilatazione dei liquidi si è che *essa non è regolare*, cioè *non è proporzionale agli aumenti della temperatara*, ma *in generale cresce col crescere di questa*, a misura che il liquido si avvicina al cangiamento di stato.

7. Aumento del coefficiente di dilatazione dei liquidi colla temperatura e pressione. — Quando un liquido viene riscaldato finisce per decomporsi o per bollire, riducendosi in vapore. Ma l'ebollizione (come vedremo) si può impedire sottoponendo il liquido ad una forte pressione, e così si può determinare la dilatazione di certi liquidi, a temperature superiori a quella in cui abbandonerebbero lo stato liquido sotto la pressione ordinaria. Così si è trovato che: *il coefficiente di dilatazione dei liquidi aumenta moltissimo colla temperatura*, talchè i liquidi volatili mantenuti sotto forti pressioni si dilatano ancora più che i gas.

§ 6. Variazioni di densità dell'acqua.

1. Massimo di densità. — Fra i liquidi, l'acqua merita un'attenzione speciale, sia per la sua importanza e diffusione nella natura, sia perchè il peso della sua unità di volume è la base della misura dei pesi nel sistema metrico, e dei pesi specifici nella scienza.

Ora, lo studio di questo liquido ha dimostrato che, oltre ad una dilatazione non meno irregolare di quella degli altri liquidi, esso presenta due importanti eccezioni alla legge generale: che *pel calore i corpi si dilatano e pel freddo si restringono.*

La *prima eccezione* è che l'acqua ha la massima densità, o minimo volume, a + 4°, e da tale temperatura si espande tanto pel calore quanto pel freddo.

Questo fatto venne dapprima osservato dagli accademici del Cimento (Firenze 1660), i quali raffreddando successivamente un termometro ad acqua, videro il livello del liquido, che era dapprima disceso, risalire poco prima della congelazione.

L'esperienza si può facilmente ripetere immergendo un termometro ad acqua, insieme ad un termometro a mercurio, nel ghiaccio fondente. Si vede così l'acqua discendere nel cannello assieme col mercurio, però solo fino a circa + 6°, perchè, sebbene essa continui realmente a diminuire di volume fino a + 4°, approssimandosi a questo limite, la sua contrazione diviene minore di quella del recipiente e perciò essa comincia a salire prima dei 4°.

Inversamente, se il termometro ad acqua è immerso in un liquido a 0° insieme con un termometro a mercurio, scaldando il liquido poco a poco, l'acqua scende nel cannello fino a circa 6°, perchè sebbene diminuisca di volume solo fino a 4°, siccome il recipiente continua a dilatarsi dopo questa temperatura, e dapprima la dilatazione dell'acqua è minore di quella del recipiente, così essa continua a scendere fino a +6°. Indi sale ripassando pel punto in cui si trovava a 0° verso gli 11°, e in seguito continua a salire.

Tenendo conto della contrazione del recipiente in queste espe-

rienze, Despretz assegnò la massima densità fra 3°,96 e 4°,02, Kopp a 4°.08; Pierre fra 3°,46 e 4°04; Rossetti a 4°,07.

Moltissime altre ricerche vennero eseguite in proposito da varii Fisici. Vennero usati areometri a peso costante, e osservato il vario grado della loro immersione nell'acqua a diverse temperature. Così pure, venne cercata, mediante squisite bilancie idrostatiche, la perdita di peso nell'acqua a diverse temperature di un'ampollina di vetro zavorrata, della quale si conosceva il coefficiente di dilatazione cubica.

Le determinazioni che meritano maggior fiducia assegnano alla temperatura della massima densità dell'acqua dei valori compresi fra 3°,9 e 4°,1.

Il prof. Rossetti, dalle sue ricerche combinate con quelle di altri, ha costrutto una *Tavola di pesi specifici e volumi dell'acqua a varie temperature*, la quale merita di essere riferita.

Temper.	Peso specif.	Volumi	Temper.	Peso specif.	Volumi
— 10°	0,998 145	1,001 858	+ 22°	0,997 826	1,002 177
— 5	9 298	0 702	23	7 601	2 405
0	9 871	0 129	24	7 367	2 641
+ 1	9 928	0 072	25	7 120	2 888
2	9 969	0 031	26	6 866	3 144
3	9 991	0 009	27	6 603	3 408
4	1,000 000	1,000 000	28	6 331	3 682
5	0,999 990	0 010	29	6 051	3 965
6	9 970	0 030	30	5 765	4 253
7	9 933	0 067	35	4 18	5 86
8	9 886	0 114	40	2 35	7 70
9	9 824	0 176	45	0 37	9 71
10	9 747	0 253	50	0,988 19	1,011 95
11	9 655	0 345	55	5 82	4 39
12	9 549	0 451	60	3 38	6 91
13	9 430	0 570	65	0 74	9 64
14	9 299	0 701	70	0,977 94	1,022 56
15	9 160	0 841	75	4 98	5 66
16	9 002	0 999	80	1 94	8 87
17	8 841	1 160	85	0,968 79	1,032 21
18	8 654	1 348	90	5 56	5 67
19	8 460	1 542	95	2 19	9 31
20	8 259	1 744	100	0,958 65	1,043 12
21	8 047	1 957	—	—	—

In questa tabella sono notate anche alcune temperature inferiori a 0°, perchè, come vedremo, l'acqua si può mantenere liquida anche a temperature alquanto inferiori a 0°.

Dalla medesima si scorge che l'acqua a + 8° ha assai approssimativamente la densità che possiede a 0°.

2. Aumento di volume nella solidificazione. – *La seconda importante eccezione che presenta l'acqua* si è che, quando si solidifica, non diminuisce di volume come la maggior parte dei corpi liquidi, ma si dilata ancora considerevolmente, cioè circa di $^1/_{10}$. Quindi il ghiaccio galleggia sull'acqua. Ma di questo fenomeno si tratterà nello studio della solidificazione.

3. Importanza delle variazioni di densità dell'acqua nella economia della natura. — Qui è da notare che le due eccezioni che presenta l'acqua alla legge della contrazione dei corpi pel raffreddamento hanno grande importanza nell'economia della natura. L'acqua dei laghi nei paesi freddi nell'inverno si raffredda dapprima alla superficie in contatto coll'aria fredda, diviene più densa, si affonda, mentre l'acqua sottostante, meno fredda e meno densa, sale e viene essa pure a raffreddarsi alla superficie. Così tutta l'acqua di un lago nell'inverno acquista, poco a poco, dapprima la temperatura di +4°. Ora, se al disotto di questa temperatura l'acqua continuasse a condensarsi, continuerebbe il raffreddamento superficiale e quindi l'affondamento, finchè tutta l'acqua avesse acquistato la temperatura di 0°. E se non esistesse la seconda eccezione, cioè se il ghiaccio fosse più pesante che l'acqua, il primo strato di ghiaccio formato alla superficie discenderebbe, se ne formerebbe un secondo, e così di seguito, per modochè l'acqua si congelerebbe in tutta la profondità, e si spegnerebbe ogni vita vegetale e animale. Nella state poi la fusione avverrebbe solo alla superficie, perchè il calore solare non può penetrare nell'acqua oltre una certa profondità.

Ma, per la prima eccezione, quando tutta l'acqua ha acquistato la temperatura di + 4°, quella superficiale raffreddandosi vieppiù diviene specificamente più leggera, e perciò non scende, ma si raffredda successivamente fino a 0°; allora si congela, e per essere il ghiaccio più leggiero che l'acqua, rimane alla superficie di questa a proteggere quella sottostante da ulteriore raffreddamento.

Infatti, le esplorazioni fatte nei laghi hanno dimostrato che realmente, in quelli abbastanza profondi, sotto il ghiaccio superficiale la temperatura va crescendo colla profondità fino a + 4°.

Nelle acque correnti le cose procedono diversamente, perchè il rimescolamento continuo delle parti prodotto dall'agitazione impedisce la circolazione dovuta alle variazioni della densità.

4. Influenza delle sostanze disciolte nell'acqua sulla temperatura della massima densità. — Tutti i corpi contenenti acqua, per es., le soluzioni saline, l'alcool diluito, ecc. si comportano in modo simile a quella, cioè si dilatano irregolarmente, e presentano un massimo di densità, il quale però non è a $+4^{\circ}$. In generale un sale contenuto in soluzione nell'acqua abbassa la temperatura della massima densità, come pure quella della congelazione, e l'abbassamento varia colla quantità del sale disciolto.

Così, in media, la temperatura della congelazione dell'acqua del mare è -2°, e quella della massima densità è $-3^{\circ},5$; quindi essa, fino alla congelazione, si comporta come gli altri corpi, cioè aumenta di densità col diminuire della temperatura.

§ 7. Dilatazione dei gas.

1. Leggi. — I gas sono i corpi più dilatabili alla pressione ordinaria, e, nello stesso tempo, quelli la cui dilatazione è più regolare, cioè proporzionale agli aumenti della temperatura, poichè il calore non deve in essi vincere la coesione molecolare, ma solo la pressione esterna.

Già Volta, nel 1793, aveva enunciato la legge dell'*uniforme dilatazione dell'aria pel calore.* In seguito (1802) Gay-Lussac, da esperienze più estese, aveva dedotto le seguenti leggi:

1° *Tutti i gas si dilatano uniformemente da* 0° *a* 100°.

2° *Il loro coefficiente di dilatazione è lo stesso per tutti, ed eguale a* $0{,}00375 = {}^{1}/_{267}$.

3° *Questo coefficiente conserva lo stesso valore, qualunque sia la pressione del gas.*

Ma le successive esperienze più precise di Rudberg, e poi quelle di Regnault e Magnus, hanno dimostrato:

1° *Che il coefficiente di dilatazione non è precisamente eguale pei diversi gas, quantunque differisca pochissimo da un gas all'altro.*

2° *Che il coefficiente di dilatazione dell'aria e degli altri gas è alquanto minore di quello trovato da Gay-Lussac, cioè è solo* $= {}^{1}/_{273}$ *circa.*

3° *Che il coefficiente cresce alquanto colla pressione.*

Tuttavia, fra certi limiti di temperatura, che variano da un gas all'altro, si può ritenere che il coefficiente di dilatazione dei gas, sia $\alpha = {}^1/_{273}$, e sia costante ed eguale per tutti.

2. Dilatazione dei gas a pressione costante ed a volume costante. — La dilatazione dei gas si può considerare in due maniere: cioè a *pressione costante*, il che ha luogo quando il gas riscaldato può espandersi liberamente; ovvero *a volume costante*, il che avviene quando il gas è contenuto in un recipiente di volume invariabile, nel quale caso aumenta la sua pressione sulle pareti.

Siccome in questo caso il gas non si dilata, l'aumento di pressione corrispondente all'aumento di temperatura di 1° si chiama *coefficiente di tensione* anzichè *coefficiente di dilatazione*.

3. Formola della dilatazione a pressione costante. — Quindi rappresentando

con α il coefficiente di dilatazione,
V_0 il volume del gas a 0^0,
V_t » » t^0,

per la formola generale della dilatazione si ha:

$$V_t = V_0 + V_0 \alpha t = V_0 (1 + \alpha t),$$

che esprime la dilatazione di un gas *a pressione costante*.

4. Formola dell'aumento di pressione di un gas a volume costante. — Sieno:

V_0 il volume del gas a 0^0,
B_0 la pressione del gas a 0^0,
α il suo coefficiente di dilatazione cubica a pressione costante.

Se il gas venisse riscaldato a t^0 a pressione costante,

il suo volume diverrebbe $V_t = V_0 (1 + \alpha t)$,

e la sua pressione resterebbe B_0; ora se da questo volume V_t con la sola compressione e senza alterare la temperatura t riduciamo la massa del gas al volume V_0, essa acquisterà una tensione B_t data dalla eguaglianza:

$$\frac{B_0}{B_t} = \frac{V_0}{V_t} = \frac{V_0}{V_0 (1 + \alpha t)} = \frac{1}{1 + \alpha t},$$

perchè alla stessa temperatura t si hanno

i due volumi: V_t, V_0
e le pressioni corrispondenti: B_0, B_t

fra le quali 4 grandezze, per la legge di Boyle, esiste la proporzione inversa sovrascritta.

Quindi si ricava:

$$B_t = B_0 (1 + \alpha t).$$

La quale eguaglianza dimostra che: *nel caso in cui il gas è mantenuto a volume costante, la sua pressione cresce di quanto sarebbe cresciuto il volume se fosse rimasta costante la pressione.*

Però ciò vale solo nell'ipotesi che il gas segua esattamente la legge di Boyle. Ma siccome abbiamo veduto che quella legge è solo approssimata, e tanto meno quanto più il gas è prossimo allo stato liquido, perciò in tale caso la formola precedente non è esatta.

5. Temperatura dello zero assoluto. — Si è già detto che si denomina *temperatura dello zero assoluto* quella alla quale i corpi non posseggono più calore, e che essa è a -273^0, cioè è 273 sotto quella dello zero del termometro centigrado.

Questo risultato si ottiene mediante la formola precedentemente stabilita $B_t = B_0 (1 + \alpha t)$, che esprime la pressione di un gas alla temperatura t, mediante la sua pressione alla temperatura 0, e il coefficente di dilatazione. Infatti, siccome il calore, secondo la teoria meccanica, dipende dai movimenti molecolari, consegue che allo zero assoluto, non essendovi più calore, deve essere nullo il movimento molecolare.

Ora, la tensione dei gas essendo dovuta al movimento delle loro molecole, consegue anche che alla temperatura t dello zero assoluto, essendo nullo il movimento molecolare, deve essere nulla la tensione, cioè si deve avere:

$$B_t = B_0 (1 + \alpha t) = 0.$$

Ma siccome il fattore B_0, che indica la pressione di un gas alla temperatura dello zero centigrado, non è nullo, perchè allora il gas possiede ancora calore, dovrà essere nullo l'altro fattore, cioè si deve avere:

$$1 + \alpha t = 0,$$

d'onde si ricava:

$$t = -\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{\frac{1}{273}} = -273^o.$$

Le temperature misurate dallo *zero assoluto* (-273^0) si dicono *temperature assolute*. Queste si sogliono indicare colla lettera greca Θ.

Per passare da una temperatura centigrada t alla corrispondente temperatura assoluta Θ basta aggiungervi 273^0, cioè si ha:

$$\Theta = t + 273^o.$$

§ 8. Termometri.

1. Misura delle temperature. — I nostri sensi non danno una giusta misura dell'intensità del calore o temperatura. Infatti, se immergiamo una mano nell'acqua fresca e l'altra nell'acqua calda, e poscia ambedue nell'acqua tepida, noi proviamo colla prima mano la sensazione del caldo, colla seconda la sensazione del freddo. Così pure, entrando in una cantina alquanto profonda, proviamo tepore nell'inverno, e frescura nell'estate, quantunque il sottosuolo, ad una certa profondità, abbia temperatura costante.

Quindi, per misurare la temperatura dei corpi, si usano strumenti detti *termometri*, i quali, in generale, sono fondati sulla dilatazione dei corpi pel calore.

Due corpi avranno eguale temperatura se messi in contatto non faranno variare reciprocamente il loro volume; invece quello che fa crescere il volume di un altro, deve avere maggior temperatura di questo, salvo i casi eccezionali, come quelli dell'acqua, ecc.

Le notizie più elementari intorno ai termometri vennero già esposte nelle nozioni preliminari. A complemento di quelle si possono aggiungere le seguenti.

Per determinare le temperature dietro le variazioni del volume conviene scegliere un corpo nel quale tali variazioni sieno regolari, cioè eguali per eguali variazioni del calore. I corpi la cui dilatazione è più grande e più regolare, come vedemmo, sono i gas, perchè le loro molecole sono sciolte dai vincoli della coesione; e perciò il termometro più sensibile e più preciso, è quello in cui il corpo termoscopico è un gas, come l'aria, o l'idrogeno, o l'azoto.

Ma il termometro a gas richiede osservazioni delicate, e non può servire per l'uso comune, pel quale convengono meglio i termometri a liquido.

I termometri a liquido più in uso sono quelli a mercurio e ad alcool. Il mercurio si ottiene facilmente puro, non si riduce in vapore che a circa 360°, e non si solidifica che a — 40°; ha una dilatazione quasi regolare, ed essendo un metallo è miglior conduttore

del calore che tutti gli altri liquidi, e perciò piglia più rapidamente la temperatura dei corpi con cui viene messo in contatto.

L'alcool poi ha bensì il difetto di bollire a temperatura poco elevata (78°), e di avere una dilatazione poco regolare, ma presenta il vantaggio di non congelarsi che a bassissima temperatura, e perciò serve appunto per le basse temperature alle quali il mercurio si solidificherebbe.

2. Termometro a mercurio. — La costruzione del termometro a mercurio comprende quattro operazioni : 1° *la preparazione del recipiente;* 2° *la purificazione del mercurio;* 3° *l'introduzione del liquido;* 4° *la graduazione.*

Di queste quattro operazioni la più importante a conoscersi, nello studio elementare del termometro, è la 4ª, di cui si parlerà dopo un breve cenno intorno alle prime tre.

3. Operazioni che precedono la graduazione. — Per costruire un buon termometro devesi dapprima curare la *calibratura* del tubo, cioè scegliere un tubo che abbia un diametro interno il più possibile uniforme. Ciò si riconosce introducendo nel medesimo una colonna di mercurio lunga da 2 a 3 centimetri, che si fa successivamente passare nelle diverse porzioni del tubo, notando le lunghezze assunte dalla medesima in queste. Se essa si allunga o si raccorcia notevolmente, il tubo deve essere abbandonato; ma quando la sua lunghezza non varia di 1mm dall'una all'altra estremità, deve essere considerato come buono, perchè i tubi non sono mai perfettamente cilindrici, ma sempre alquanto conici, pel modo con cui vengono fabbricati

Nella costruzione dei termometri di precisione devesi anche tenere conto di questa differente lunghezza della colonna di mercurio il cui volume è costante.

Il tubo scelto deve essere lavato lasciandolo a bagno nell'acido azotico bollente per distruggere così tutte le materie organiche e la polvere al medesimo aderenti; poscia viene lavato nell'acqua distillata, e finalmente asciugato in una corrente d'aria calda.

Dopo ciò, colla lampada a soffio d'aria, si salda ad una estremità del tubo il bulbo destinato a contenere la maggior parte del liquido termometrico, ed all'altra estremità del tubo si soffia una bolla aperta che serve da imbuto per introdurre il liquido.

Però, siccome conviene preparare il tubo parecchi mesi prima di riempierlo, perchè esso abbia tempo a pigliare una capacità stabile, si usa prolungare la bolla che deve poi servire da imbuto, in un piccolo cannellino che si chiude alla lampada affinchè la polvere non vi abbia accesso nell'interno, e non sia necessario nuovamente lavarlo. Quando si vuole poi riempiere il termometro, si rompe la punta del cannellino affilato e vi si fa entrare il liquido nel modo che ora vedremo.

Per costruire un buon termometro a mercurio conviene procurarsi questo liquido puro. Quello del commercio e quello che è stato adoperato nelle esperienze contengono sempre dell'ossido, e sovente anche metalli estranei, come lo zinco, il rame, il piombo. La presenza di codesti metalli modifica le sue proprietà fisiche e lo rende aderente al vetro.

La distillazione alla pressione ordinaria non serve a purificarlo, perchè quando esso bolle i metalli che lo accompagnano possono anche emettere vapori che si mescolano con quelli del mercurio. Il modo migliore di purificarlo è il trattamento coll'acido nitrico.

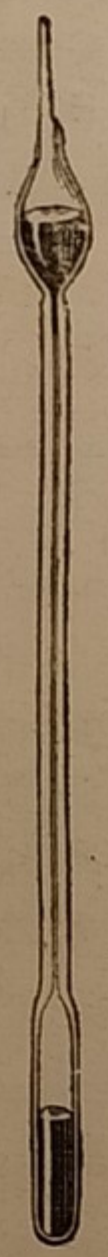


Fig. 22.

Fig. 23.

Se si mette semplicemente il mercurio nell'imbuto esso non scende nel bulbo, perchè lo vietano l'impenetrabilità dell'aria e la capillarità del tubo. Per fare discendere il liquido conviene far uscire una parte dell'aria dal bulbo. Perciò se si usa un recipiente termometrico con imbuto munito di cannellino affilato e chiuso (fig. 22), si rompe dapprima la punta di quello, e poi si riscalda ad un tempo l'imbuto ed il bulbo, per fare uscire una parte dell'aria. Indi, capovolto rapidamente lo strumento, si immerge il cannellino affilato e aperto nel mercurio (fig. 23), e si lascia raffreddare il bulbo. Siccome durante il riscaldamento una parte dell'aria contenuta nel medesimo è sfuggita, così la pressione atmosferica fa salire del mercurio nell'imbuto a misura che l'aria rimasta si contrae. Se invece l'imbuto del termometro non si prolunga in un cannellino affilato, ma è aperto, si versa

direttamente il mercurio nel medesimo, e poi si fa uscire dell'aria riscaldando il bulbo.

Poscia si sospende il tubo verticalmente col bulbo in basso e allora il liquido scende e riempie parte del bulbo (fig. 22).

Per riempierlo totalmente si porta il mercurio già entrato all'ebollizione; così i suoi vapori trascinano via tutta l'aria, e quando tutto il tubo è pieno di vapori di mercurio, lo si lascia raffreddare; allora i vapori si liquefanno, e nel vuoto discende il mercurio dall'imbuto.

Per tale operazione si dispone ordinariamente il recipiente su d'una graticola inclinata (fig. 24), nella quale si pongono carboni accesi, per modo da riscaldare dapprima l'imbuto, e poi successivamente il tubo e il bulbo, fino a produrre l'ebollizione del mercurio.

Quando l'ebollizione ha durato qualche minuto, si solleva il tubo e lo si dispone verticalmente per lasciarlo raffreddare. Se l'operazione è stata ben fatta, il mercurio presenta una bella superficie specchiante.

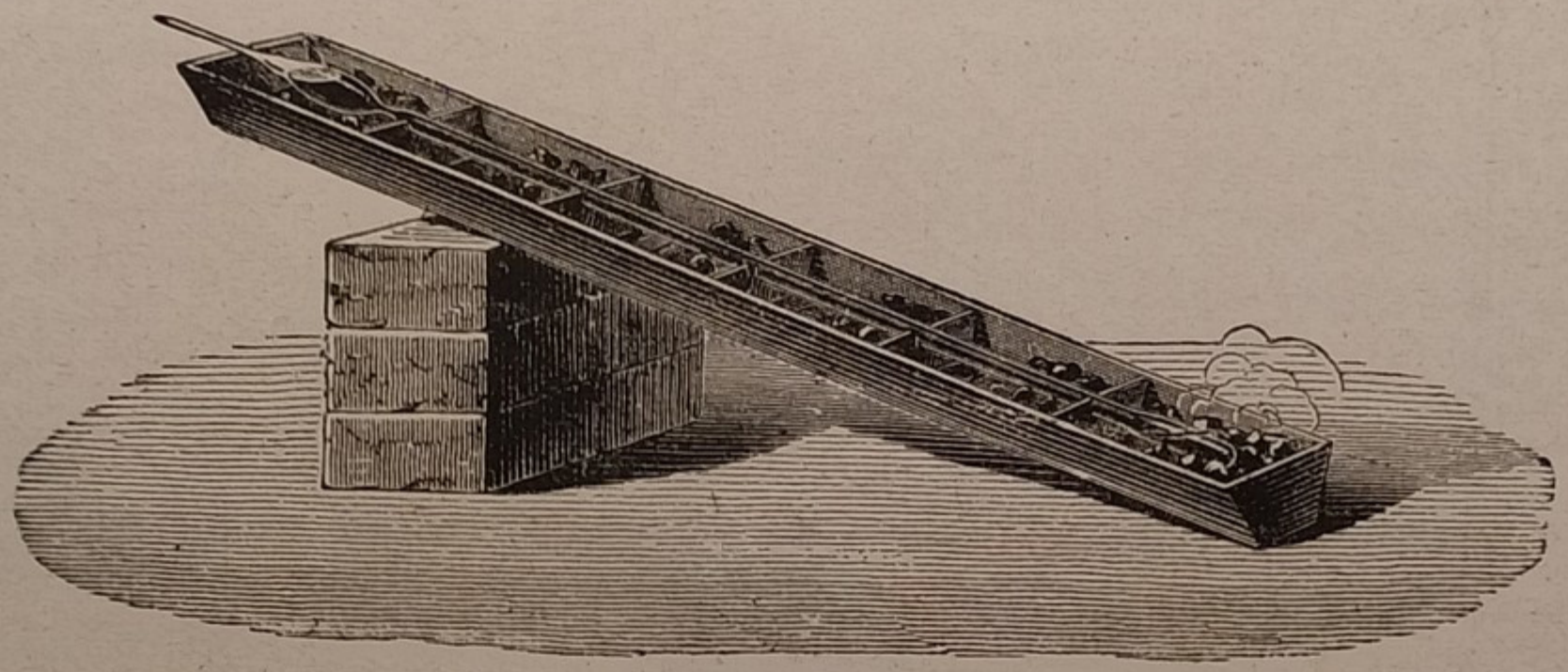


Fig. 24.

Indi con un tratto di lima dato sul tubo, al disotto dell'imbuto, si distacca questo, e così rimane il bulbo col tubo ripieno di mercurio.

Prima di chiuderlo bisogna riscaldare il liquido fino alla più elevata temperatura cui il termometro è destinato, per fare uscire il mercurio eccedente, se no questo non potrebbe dilatarsi senza rompere il tubo. Inversamente, se il termometro è destinato alle basse temperature, conviene esporlo a una temperatura eguale o inferiore alla minima, per conoscere se a questa il mercurio rimanga ancora nel tubo e non si ritiri completamente nel bulbo.

Infine, per chiudere il tubo, si fa fondere la sua estremità superiore con una fiamma, nel mentre che si riscalda il liquido affinchè questo occupi tutta la lunghezza del tubo, e non vi resti aria perchè l'ossigeno non ossidi il mercurio e non lo renda aderente al tubo. Però, si può anche lasciare un poco di questa, la quale impedisce il distacco della colonna liquida del tubo dal mercurio del bulbo.

4. Graduazione del termometro a mercurio. — La graduazione del termometro comprende tre operazioni: 1° *determinazione del punto* 0; 2° *determinazione del punto* 100°; 3° *co-*

struzione della scala. Di esse si è già parlato nelle nozioni preliminari (vol. I, § 8).

Si sono scelti, siccome punti fondamentali per la scala del termometro a mercurio, la temperatura di fusione del ghiaccio e la temperatura di ebollizione dell'acqua, perchè l'altezza del mercurio nel termometro rimane costante e si può facilmente determinare, quando è esposto a tali temperature che si possono agevolmente ottenere.

Nel determinare il punto 100 non si mette il termometro nell'acqua, ma lo si espone ai vapori che si sollevano da questa, perchè la temperatura di una colonna d'acqua bollente cresce dalla superficie verso il fondo, ed inoltre varia secondo la natura del recipiente e la purezza dell'acqua, mentre la temperatura dei vapori è indipendente da tali condizioni, ma solo dipende dalla pressione atmosferica.

Se la pressione barometrica al momento dell'esperienza non è 760^{mm}, il livello del mercurio non indica il punto a cui si deve notare 100°. Ma si è riconosciuto che la differenza è di 1° C. per ogni 27^{mm} in più od in meno di 760^{mm}, cioè di $^1/_{27}$ di grado per ogni millimetro di mercurio. Perciò, se p. e. la pressione invece di 760^{mm}, è $760 - 8 = 752^{mm}$, la temperatura corrispondente sarà: $100 - \frac{8}{27} = 99°,70$. Se invece è $760 + 8 = 768^{mm}$, si dovrà segnare $100 + \frac{8}{27} = 100°,30$.

Anche la temperatura del ghiaccio fondente non è affatto indipendente dalla pressione atmosferica; ma essa viene solo abbassata di $^1/_{18}$ di grado per 8 atm. di pressione, cosicchè la sua influenza è trascurabile.

Fissati i punti 0 e 100, ovvero 80, si divide l'intervallo fra essi compreso in 100 od in 80 parti di egual capacità, e si ha così il termometro detto centigrado, o di Celsio, ovvero l'ottantigrado, o di Réaumur. Per far tale divisione nei termometri di precisione devesi tenere conto della divisione precedentemente fatta del tubo in parti di egual capacità; nei termometri ordinari si divide semplicemente il detto intervallo in parti di egual lunghezza.

La divisione dell'intervallo fra 0 e 100 in 100 parti si fa mediante una macchina di divisione.

Nei termometri di precisione la scala è segnata sul vetro stesso; così non può spostarsi, e la sua lunghezza rimane pressapoco costante, per la poca dilatabilità del vetro. Per ottenere i segni sul vetro, si copre a caldo il tubo di un leggiero strato di vernice, poscia, con una punta di acciaio, si incidono nella vernice i segni corrispondenti; indi si espone il tubo ai vapori dell'acido fluoridrico, il quale intacca il vetro nei punti scoperti di vernice.

5. Termometro ad alcool. — Il termometro ad alcool contiene, come liquido termometrico, invece del mercurio, l'alcool puro, ovvero colorato in rosso con oricella, perchè sia più visibile.

La *scelta e preparazione* del tubo si fa come pel termometro a mercurio; ma siccome l'alcool tra 0° e 78° si dilata circa sette volte più che il mercurio, ad eguaglianza di volume del bulbo e di lunghezza del tubo, questo deve avere un diametro maggiore di quello del termometro a mercurio.

Il *riempimento* si fa pure come pel termometro a mercurio, anzi più facilmente di questo, perchè l'alcool bolle a temperatura più bassa, cioè a + 78° C. Perciò, dopo avere scaldato leggermente il serbatoio per fare uscire un poco di aria, si immerge l'estremità aperta del tubo nell'alcool; quindi, col raffreddamento dell'aria del bulbo, entra in esso il liquido. Allora si riduce questo in vapore, e quando tutto il tubo è pieno di tali vapori, di nuovo si immerge rapidamente l'estremità aperta del cannello nell'alcool; così il bulbo e il tubo si riempiono completamente. Se rimanesse una bollicina d'aria al fondo del tubo si può facilmente espellerla mediante la forza centrifuga. Perciò, lo si assicura ad una funicella, e poi gli si imprime un rapido moto di rotazione col bulbo in fuori. Per la maggior forza centrifuga dell'alcool rispetto all'aria, la colonna liquida contenuta nel tubo discaccia la bollicina d'aria e si congiunge col liquido del bulbo,

Siccome l'alcool bolle a temperatura inferiore a quella dell'acqua bollente, ed inoltre la sua dilatazione non è regolare come quella del mercurio, così il termometro ad alcool viene graduato

confrontandolo col termometro a mercurio, e notando su di esso le temperature indicate da questo.

6. Determinazione delle temperature. — È assai difficile determinare esattamente la temperatura di un solido, perchè non può, in generale, avere una grande superficie di contatto col termometro; invece tale contatto avviene bene pei liquidi. Quanto ai gas, la massa in contatto è assai piccola in confronto di quella del termometro; quindi per determinare la temperatura di un gas conviene lasciare a lungo il termometro nel medesimo.

Per determinare speditamente la temperatura dell'aria si usa anche di legare il termometro ad una funicella, e farlo girare a guisa di fionda (*termometrofionda*).

7. Spostamento dello zero. — I termometri immersi nel ghiaccio fondente qualche tempo dopo che furono costruiti, in generale non segnano esattamente lo zero, ma una frazione di grado, ed anche 1° e più, sopra quel punto. Codesto fenomeno, scoperto dal canonico Bellani nel 1823, si dice *spostamento dello zero*.

Esso è dovuto ad una lenta contrazione che ha subito il recipiente dopo che venne graduato.

Quindi, nel fare la graduazione, conviene determinare prima il punto 100, e lasciare trascorrere lungo tempo prima di determinare lo zero.

Inoltre, si osservano *spostamenti della graduazione* ogniqualvolta il termometro viene esposto a temperature notevolmente superiori o inferiori a quelle ordinarie. Per es., un termometro che sia rimasto a lungo nell'acqua bollente e poi venga tosto dopo immerso nel ghiaccio fondente, può indicare una temperatura inferiore allo zero.

Ciò avviene perchè un corpo solido le cui molecole hanno subìto uno spostamento, per una causa meccanica o fisica, il cui volume, per es., è stato diminuito od accresciuto in modo considerevole, non ripiglia immediatamente il volume primiero al cessare della causa che lo ha alterato, ma vi ritorna più o meno lentamente, il quale fenomeno si dice *elasticità susseguente*.

Per evitare lo spostamento dello zero nei termometri, si può ricuocere il vetro dei recipienti prima di graduarli.

Questo procedimento, conosciuto da più di 50 anni, non è praticato che da alcuni costruttori, e solo da pochi anni.

In ogni caso è bene di controllare la posizione dello zero prima di usare il termometro per osservazioni precise, e tenere conto dello spostamento osservato, sottraendolo dall'indicazione del termometro, se è positivo, cioè superiore allo zero, e aggiungendolo se è negativo.

Di più quando si usa un termometro lo si deve proteggere dai forti cangiamenti di pressione che alterano la capacità del bulbo. Così nel vuoto pneumatico, esso segnerebbe meno, e nelle profondità del mare segnerebbe più del vero, se non lo si chiudesse ermeticamente in un tubo di vetro.

Infine, quando si tratti di determinare la temperatura di un fluido, vi si deve affondare non solo il bulbo, ma anche la colonnetta di mercurio; e se ciò non è possibile, bisogna fare una correzione, cioè ridurre la lunghezza della colonnetta a quella che avrebbe alla detta temperatura.

8. **Sensibilità e prontezza dei termometri.** — In un termometro si distinguono due qualità, la *sensibilità* e la *prontezza*.

Lo si dice *sensibile* quando può indicare piccole differenze di temperatura. Perciò si richiede evidentemente che il cannello sia capillarissimo e il bulbo alquanto grande, perchè così i gradi risultano più lunghi e si possono valutare le frazioni di grado.

Il termometro si dice *pronto* quando indica speditamente la temperatura dell'ambiente in cui è collocato. Perciò conviene che abbia piccola massa e grande superficie, perchè quella richiede minor tempo per acquistare la temperatura dell'ambiente e produce minore alterazione in questa, mentre la grande superficie permette maggior contatto col mezzo di cui lo stromento deve indicare la temperatura.

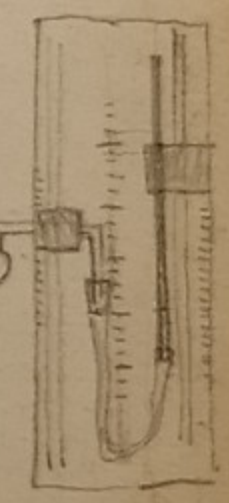
Quindi, la forma sferica del bulbo è meno conveniente che la forma cilindrica, perchè, come insegna la geometria, di tutti i corpi di egual volume la sfera è quella che ha minore superficie. Per aumentare la prontezza dei termometri clinici si usa oggidì aggiungere al mercurio $^1/_{100}$ di argento che lo rende più conduttore.

Quando il termometro è assai capillare, per rendere più visibile la colonna liquida si fa la sezione interna del cannello ellittica in modo da presentare all'occhio l'asse maggiore. Si usa anche, per aumentare la visibilità del liquido, un fondo smaltato.

9. Discordanza dei termometri. — Infine, è da avvertire che anche costruendo i termometri a mercurio con tutte le indicate precauzioni, in generale non sono perfettamente d'accordo. Il che non dipende, nè dalle varie dimensioni dei bulbi e cannelli, le quali possono solo influire sulla sensibilità e prontezza, nè dal diverso coefficiente di dilatazione dei diversi vetri, ma bensì dalla diversa variabilità di tale coefficiente del vetro col variare della temperatura e poi dal diverso spostamento dello zero. Quindi, per avere termometri esatti, il meglio si è, o di provvederseli da un fabbricante accreditato, oppure di confrontarli col *termometro normale* che posseggono gli osservatorii meteorici.

10. Termometro a gas. — La grande dilatabilità dei gas, e la regolarità della loro dilatazione, li rende assai adatti come corpi termometrici. Perciò, un termometro a gas si considera come il più perfetto e come il *termometro tipo*, o *normale*, con cui debbonsi confrontare le indicazioni degli altri termometri per conoscerne esattamente il valore.

Esso può servire specialmente per le elevate temperature e prende allora il nome di *pirometro*.



Il termometro a gas usato da Régnault consiste in un bulbo più grande di quello dei termometri ordinari, cilindrico o sferico, di porcellana verniciata, il quale si colloca nell'ambiente di cui si vuole misurare la temperatura, e mediante un cannello capillare esterno comunica colla sommità di uno dei rami di un manometro ad aria libera. Esso venne poi modificato da Jolly specialmente nella forma del manometro.

Si usa un bulbo di porcellana verniciata, anzichè di vetro o di platino, perchè il primo si fonde alle temperature elevate, e il secondo presenta il fenomeno dell'*occlusione*, cioè alle temperature elevate diviene permeabile, e permette uno scambio tra il gas che contiene e il mezzo ambiente.

11. Formola relativa al termometro a gas. — *Per intenderne l'uso* basta osservare che mentre la formola (pag. 38)

$$B_t = B_0 (1 + \alpha t)$$

dà il coefficente di tensione α quando si conosce B_t B_0 e t, inversamente essa può dare t, quando si conosce B_0, B_t e α.

Però è da avvertire che il gas contenuto nel cannello esterno all'ambiente di cui si vuole misurare la temperatura, non avendo la stessa temperatura

di quello contenuto nel bulbo, si deve fare una correzione, e così pure si deve tenere conto della dilatazione del recipiente. Infine si deve ancora tenere conto della pressione atmosferica, poichè il gaz comunica con un manometro ad aria libera. Perciò la formola colla quale si determina la temperatura mediante il termometro a gas viene ad essere più complicata di quella ora indicata.

12. — *Il termometro a gas presenta i seguenti* **vantaggi:** 1° È più sensibile del termometro a mercurio, perchè l'aria si dilata circa 20 volte di più; 2° è più esatto che il termometro a mercurio, perchè la dilatazione dei gas è più regolare. Infatti, mentre due termometri a mercurio sono raramente concordi oltre ai 100°, i termometri ad aria concordano sempre, perchè di fronte alla grande dilatazione del gas, scompaiono le piccole differenze nella dilatazione del recipiente; 3° può impiegarsi alla misura delle temperature elevate; 4° infine, se lo si gradua a partire da 273° sotto lo 0° centigrado, esso indica le temperature assolute.

Quindi il termometro ad aria è preferibile al termometro a mercurio; ma come si è già notato, lo si può usare solo nelle ricerche scientifiche, perchè richiede delicate osservazioni e calcoli alquanto lunghi e complicati.

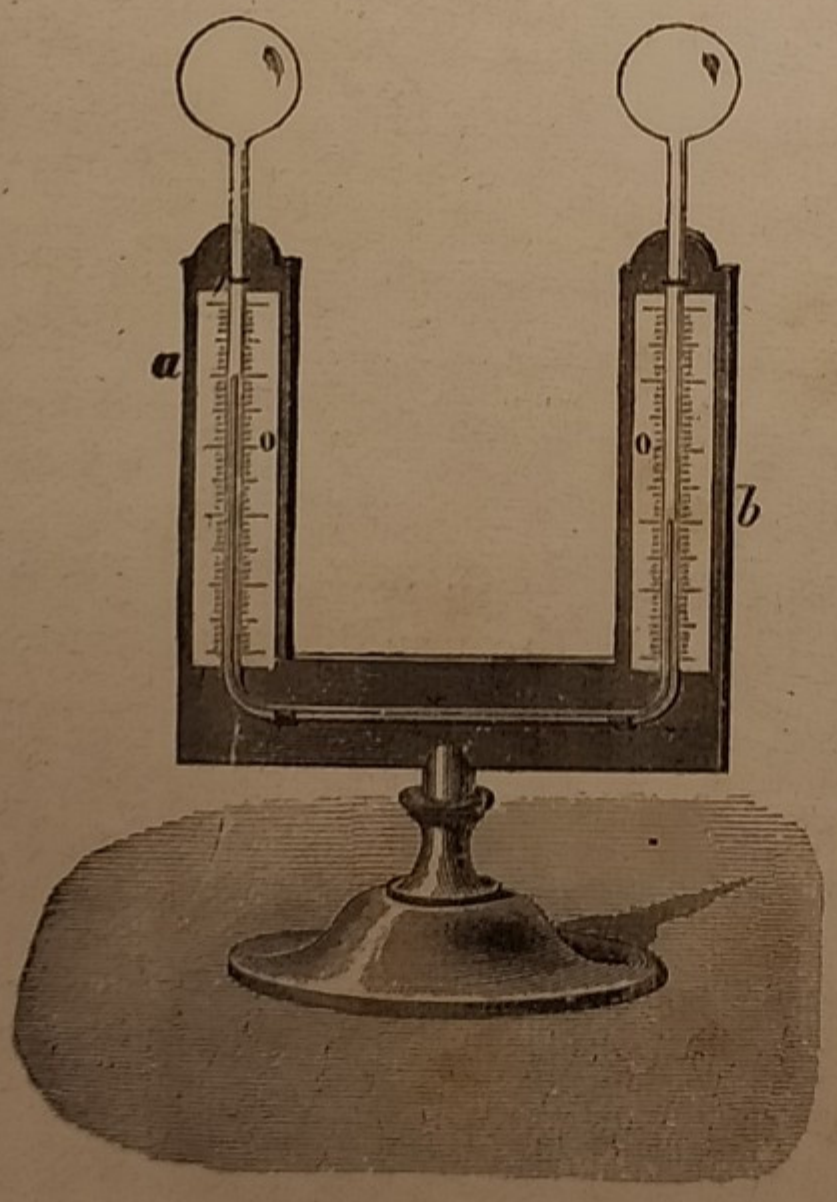


Fig. 25.

13. Termometri differenziali. — Per la misura delle differenze di temperatura si usa talvolta il *termometro differenziale di Leslie* (fig. 25), il quale consta di un tubo di vetro piegato ad U, terminato a ciascuna estremità da una bolla pure di vetro, una delle quali viene ordinariamente annerita con nero fumo. Le due bolle sono piene d'aria, ed il tubo orizzontale e parte delle porzioni verticali contengono acido solforico colorato in rosso, il quale sta nei due tubi verticali ad eguale altezza se la temperatura delle due bolle è eguale, mentre invece si abbassa in uno dei tubi verticali innalzandosi nell'altro, se la corrispondente bolla è più calda, perchè l'aria ivi racchiusa si dilata e preme il liquido.

Si è scelto l'acido solforico perchè non dà vapori alle temperature ordinarie.

Analogo al termometro differenziale di Leslie è il *termometro di Rumford* (fig. 26), il quale non differisce dal precedente se non perchè le due bolle sono più grandi, e perchè la colonna liquida è ridotta ad un breve indice che scorre nella parte orizzontale del tubo.

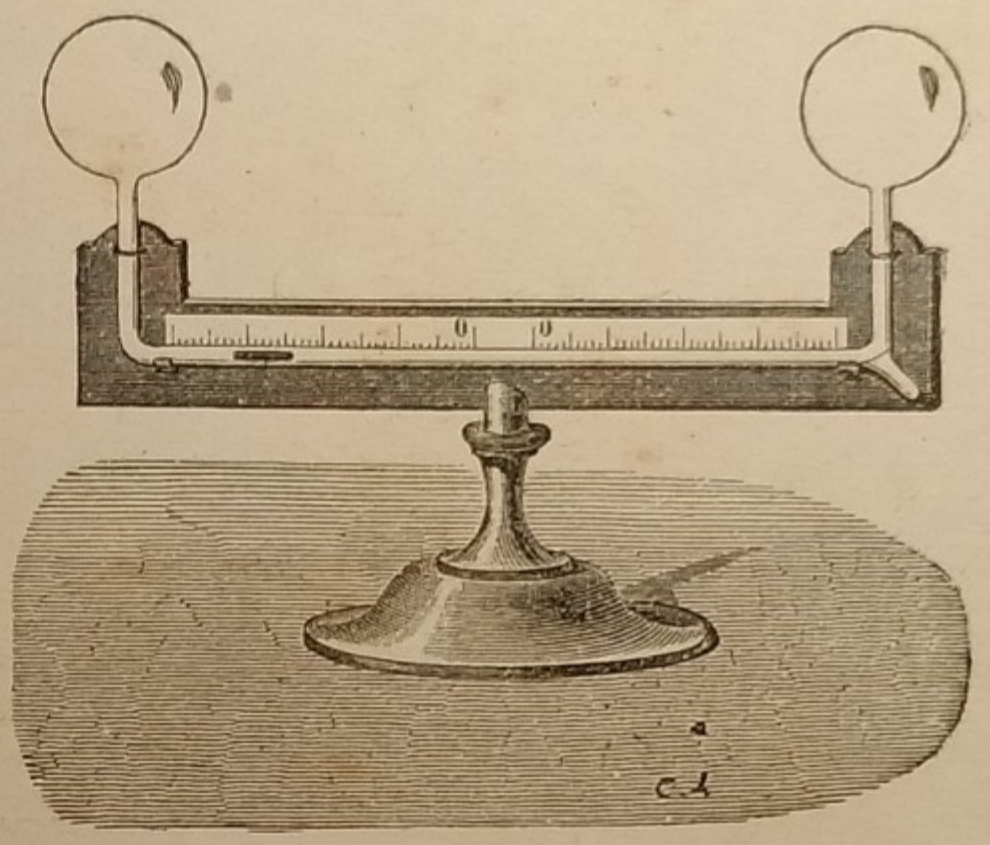


Fig. 26.

14. Termometri del massimo e del minimo. — Nella determinazione della temperatura atmosferica importa conoscere la massima e la minima temperatura diurna e notturna, senza essere obbligati ad osservare continuamente il termometro. Si costruiscono perciò termometri che lasciano il segno di tale temperatura massima e minima, e diconsi perciò del *massimo* e del *minimo*.

Ve ne sono di molte forme. Per brevità si dà solo un cenno dei due più usati negli osservatorii meteorici.

Il termometro a massima più in uso è quello di *Negretti* e *Zambra*. È un termometro a mercurio il quale ha il cannello alquanto incurvato in vicinanza del bulbo (fig. 27) e nell'incur-

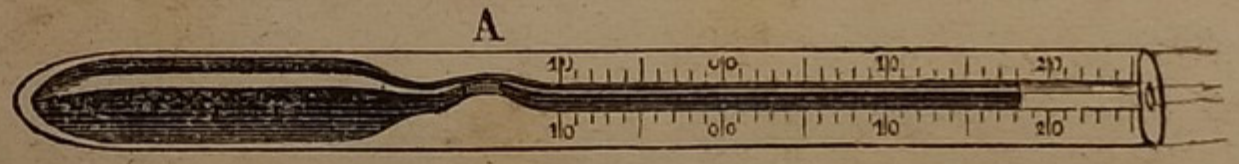


Fig. 27

vatura (A) contiene un filo di vetro che ivi rende angustissimo il meato.

Collocato tale termometro orizzontalmente, o leggermente inclinato dalla parte del bulbo, se la temperatura si innalza, il mercurio si dilata, passa nello stringimento, e si avanza nel cannello; quando poi la temperatura di nuovo scende, la colonna liquida passata oltre lo stringimento, vi rimane e non rientra nel bulbo, perchè la resistenza che incontra il mercurio a passare

per quello spazio è superiore alla coesione del mercurio. La sua estremità più lontana dal bulbo indica così la massima temperatura.

Per ricongiungere poi tale colonna al rimanente mercurio, non si ha che a tenere il tubo in posizione verticale; il suo peso le fa superare la resistenza dello stringimento. Tutto al più si può aiutare un tantino la colonna a vincere tale resistenza mediante la forza centrifuga, facendo colla mano descrivere al termometro un piccolo arco.

Il termometro a minima più in uso è quello di *Rutherford* (fig. 28). È un termometro ad alcool nel quale nuota una verghetta

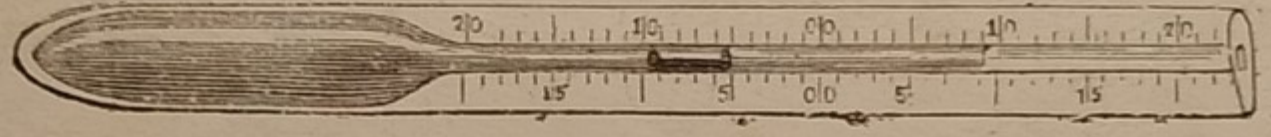


Fig. 28.

di vetro che vien tirata indietro dal menisco concavo del liquido quando la temperatura si abbassa, e rimane giacente ove si trova quando quella cresce, perchè il liquido passa liberamente tra la verghetta e la parete del tubo, e il menisco non la trae innanzi.

Per rimettere la verghetta in contatto col menisco basta copovolgere delicatamente lo stromento, e così quella scende pel suo peso fino in contatto del menisco.

Spesso la verghetta è cava e contiene internamente un piccolo filo di ferro, cosicchè la si può spostare mediante una calamita.

Questo termometro presenta solo l'inconveniente che nella stagione calda una parte dell'alcool evapora e poi si condensa all'estremità del tubo, ove forma una colonnetta liquida separata dalla rimanente. Si può riunirla mediante la forza centrifuga.

§ 9. Calore specifico dei solidi e dei liquidi.

1. Nozioni fondamentali. — *La calorimetria* ha per oggetto di misurare le quantità di calore che i corpi acquistano o perdono quando la loro temperatura cresce o diminuisce di un dato numero di gradi, ovvero mutano stato.

Si è già detto che per misurare le quantità di calore si prende

per unità la caloria, cioè: *la quantità di calore necessaria per innalzare da* 0^0 *ad* 1^0 *la temperatura di* 1 kg. *d'acqua.*

Per uno stesso corpo, la quantità di calore necessaria per produrre una data variazione di temperatura è proporzionale alla massa, o al peso. Per es., se per riscaldare da 0^0 a 1^0, 1 *kg.* di acqua, è necessaria una caloria, per riscaldare egualmente 2, 3, ecc. *kg.* di acqua, si richiedono 2, 3, ecc., calorie; ed in generale per riscaldare P *kg.* di acqua da 0^0 ad 1^0 si richieggono P calorie.

Inversamente P *kg.* di acqua passando da 1^0 a 0^0 emettono P calorie.

Questo fatto, evidente per se stesso, è pienamente confermato dall'esperienza.

Pesi eguali di corpi diversi richieggono quantità diverse di calore per acquistare egual temperatura, ed inversamente, *una stessa quantità di calore produce temperature diverse in pesi eguali di corpi diversi.*

Infatti se si mescola 1 *kg.* di acqua a 100^0 con 1 *kg.* di acqua a 0^0, si ottengono 2 *kg.* di acqua ad una temperatura media, cioè 50^0. Se invece si mescola 1 *kg.* di mercurio a 100^0 con 1 *kg.* di acqua a 0^0, il miscuglio prende la temperatura di 3^0 circa. Ciò vuol dire:

che la quantità di calore perduta dal mercurio raffreddandosi di $100 - 3^0 = 97^0$ non riscalda che di 3^0 circa lo stesso peso di acqua.

2. Esperienza di Tyndall. — Si dimostra nelle scuole che i corpi a parità di peso e di temperatura posseggono quantità diverse di calore colla seguente esperienza.

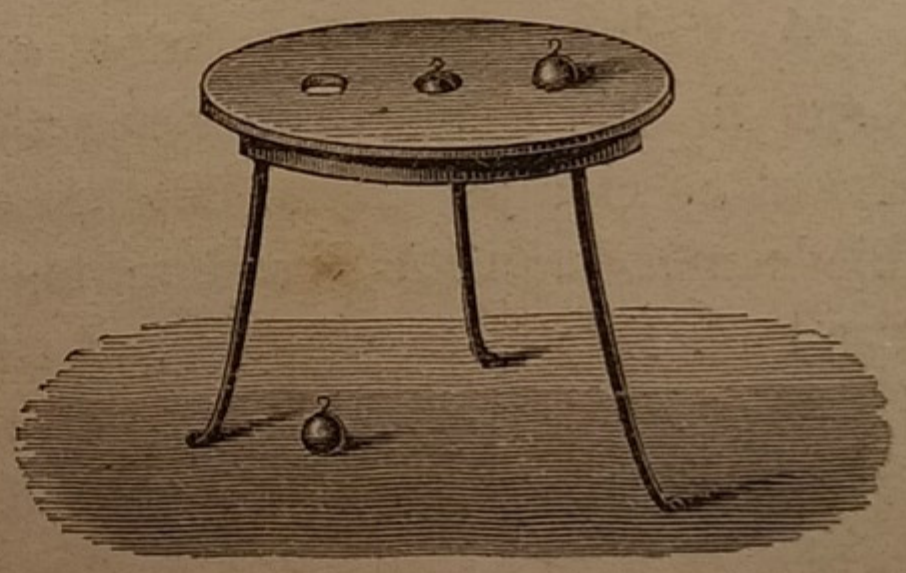


Fig. 29.

Si fanno riscaldare alla stessa temperatura in un bagno di olio, ovvero semplicemente nell'acqua bollente, palle di metalli diversi, ma di egual peso, per es., di ferro, rame, piombo; quindi si pongono contemporaneamente sopra un disco di cera (fig. 29) di 1 centimetro circa di grossezza, e si

vede che la palla di ferro si affonda più celeremente, quindi viene subito la palla di rame che sta poco addietro al ferro, mentre la palla di piombo si affonda pochissimo, il che dimostra che possiede minore quantità di calore.

Se le palle sono state immerse nell'olio a 200° circa, si vede che la prima a forare il disco è quella di ferro, poi viene quella di rame, mentre quella di piombo non riesce a forarlo. Se sono solo state immerse nell'acqua bollente non forano il disco, ma si affondano solo a diversa profondità.

Ciò prova che pesi uguali di quei differenti metalli riscaldati ad una stessa temperatura nel raffreddarsi cedono quantità differenti di calore; d'onde devesi conchiudere che essi, nel riscaldarsi dello stesso numero di gradi, hanno pure acquistato quantità differenti di calore.

Però tale esperienza non è esente da obbiezioni perchè i diversi corpi hanno diverso *potere emissivo*, cioè diversa attitudine ad emettere il calore, dalla quale dipende anche la fusione più o meno rapida della cera.

3. Calore specifico. — Si dice: *calore specifico di un corpo: il numero delle calorie necessarie per elevare di* 1° *la temperatura di* 1 *kg. del medesimo.*

E siccome la caloria è appunto la quantità di calore necessaria per riscaldare di 1° 1 *kg* di acqua, perciò risulta che *la caloria non è altro che il calore specifico dell'acqua;* e il calore specifico di un corpo si può anche definire: *il rapporto fra la quantità di calore necessaria per elevare di* 1° *la sua temperatura e quella che richiede un egual peso di acqua.*

4. Calore specifico vero e medio. — Per uno stesso corpo il calore specifico cresce alquanto col crescere della temperatura, cioè per riscaldare un corpo da 50° al 51° si richiede una quantità di calore maggiore che per riscaldarlo da 0° ad 1°. Infatti Regnault trovò che per riscaldare 1 *kg.* d'acqua da 0° a 100° si richieggono 100,5 calorie, e Baumgartner e Pfaundler trovarono 101,5 calorie. Lo stesso avviene per gli altri corpi.

Quindi, si dice *calore specifico medio* di un corpo fra due temperature *t* e T, il quoziente che si ottiene dividendo il n° *q* delle calorie necessarie per portare 1 *kg.* del medesimo dall'una

all'altra temperatura pel n° T — t dei gradi di riscaldamento; cosicchè indicando con c il calore specifico medio, si ha:

$$c = \frac{q}{T - t}.$$

Se si suppone che il detto intervallo di temperatura T — t divenga di 1^0, allora il calore specifico medio si confonde col *calore specifico vero* del corpo alla temperatura t, che è il numero delle calorie necessarie per riscaldarlo di 1^0 partendo dalla detta temperatura.

La teoria meccanica del calore interpreta il fatto del calore specifico dei corpi osservando come il calore comunicato a questi non deve solo aumentare la forza viva delle loro molecole, ma anche allontanarle, e quindi fare un lavoro il quale varia da un corpo ad un altro: perciò per elevare egualmente la temperatura di corpi diversi si richieggono quantità diverse di calore.

E la variazione del calore specifico col variare della temperatura si spiega osservando che, col variare della temperatura dei corpi varia la coesione, e quindi l'aumento di volume, e quindi ancora il lavoro che il calore deve eseguire per produrre una data variazione della temperatura.

Per la stessa ragione il calore specifico di un corpo varia collo stato d'aggregazione e colla tempera. Ma per uno stesso stato d'aggregazione, e per differenza di temperatura non molto grandi, dette variazioni sono piccole e trascurabili, e quindi il calore specifico si può considerare come costante.

5 Espressione matematica della quantità di calore mediante il calore specifico. — Trascurando le piccole variazioni che subisce il calore specifico colla temperatura, cioè supponendo quello costante, egli è chiaro che se la caloria è la quantità di calore necessaria per riscaldare di 1^0 la temperatura di 1 *kg.* di acqua, per riscaldarlo da 0^0 a t^0 si richiederanno t calorie, e per riscaldarlo da t^0 a T^0 si richiederanno T — t calorie. E per riscaldare P chilogrammi da 0^0 a t^0 si richiederà la quantità di calore Pt, e da t^0 a T^0 si richiederà una quantità q di calore, o un numero q di calorie espresso dall'equaglianza:

$$q = P\ (T - t).$$

La stessa formola esprime evidentemente anche il numero delle calorie perdute dall'acqua quando la sua temperatura discende da T° a t^0.

E per un corpo il cui calore specifico è c si avrà:

$$q = c\,P\,(T - t).$$

6. Metodi per determinare il calore specifico dei corpi solidi e liquidi. — Due sono i metodi più usati per la determinazione del calore specifico dei solidi e liquidi, cioè: 1° *il metodo delle mescolanze*; 2° *il metodo della fusione del ghiaccio.*

7. Metodo delle mescolanze, o del calorimetro ad acqua (Neumann 1831, Regnault 1840). — Gli apparecchi che servono per la misura delle quantità di calore si dicono *calorimetri.* Quello usato nel metodo delle mescolanze, è il *calorimetro ad acqua.*

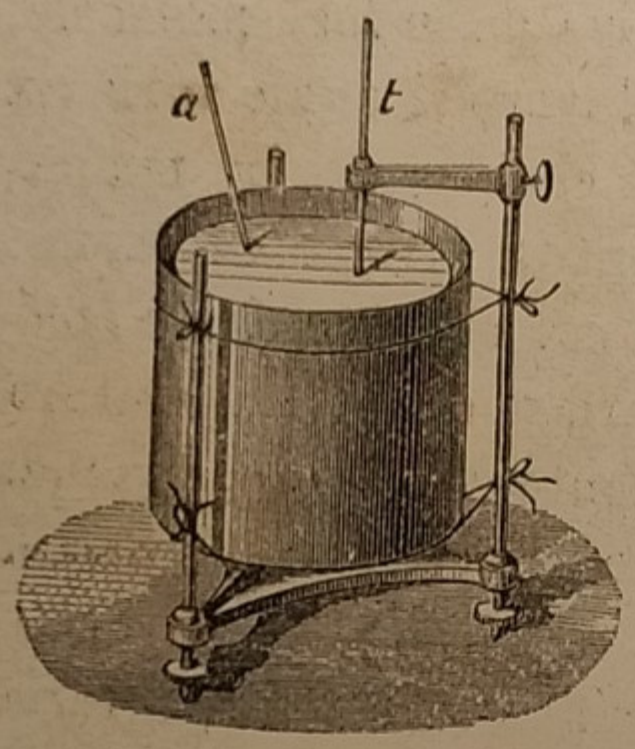


Fig. 30.

Nella sua forma più semplice consiste in un recipiente cilindrico (fig. 30) di lamina metallica sottilissima, di ottone, o meglio di argento, o platino, ben pulito (affinchè abbia un debole potere emissivo del calore) che contiene un peso determinato di acqua, in cui pesca un termometro a mercurio (t) e un agitatore (a). Per evitare le perdite di calore, il recipiente è sospeso con fili di seta a sostegni di legno, o meglio è appoggiato su punte di legno entro un altro recipiente esterno pure metallico e speculare (non indicato dalla figura).

Il *procedimento generale* consiste nel riscaldare il corpo, di cui deve essere noto il peso P, fino ad una determinata temperatura T, e immergerlo poscia rapidamente nel calorimetro contenente un peso Q, di acqua alla temperatura t; dopo un certo tempo la mescolanza prende una temperatura comune θ, in base alla quale si può avere il calore specifico c del corpo.

8. Formola relativa al calorimetro ad acqua. — Non tenendo conto delle quantità di calore che contemporaneamente ricevono il vaso interno calorimetrico, il termometro, e l'agitatore (per dare un esempio semplice del calcolo dell'esperienza), ammettendo cioè che tutto il calore ceduto dal

corpo nel raffreddarsi sia acquistato dall'acqua nel riscaldarsi, possiamo scrivere l'equazione:

$$P\,c\,(T-\theta)=Q\,(\theta-t)$$

ove appunto i due membri rappresentano le dette quantità di calore cedute e guadagnate e dalla quale si ricava il valore di c.

Però in pratica il metodo riesce alquanto complicato, perchè vi sono parecchie correzioni a fare. Dapprima, mentre si riscalda l'acqua si riscaldano anche le pareti del calorimetro, il termometro, e l'agitatore con cui si rende uniforme la temperatura. Si procura bensì di diminuire gli errori, usando calorimetri ed agitatori a pareti sottili, perchè acquistino meno calore, e piccoli termometri, ma tuttavia conviene tenere conto di queste quantità di calore.

Inoltre, per quanto rapidamente si faccia l'immersione del corpo nell'acqua, esso perde sempre nel frattempo un poco di calore. Infine una certa quantità di questo si trasmette dalle pareti del calorimetro all'esterno, e quindi si disperde.

Vi sono vari metodi per tali correzioni, ma tuttavia le determinazioni sono sempre alquanto incerte.

Quindi, per diminuire le cause di errore, Regnault e Berthelot usarono calorimetri più complicati, per lo studio dei quali conviene consultare i trattati speciali.

9. Metodo della fusione del ghiaccio. — È fondato sul fatto che 1 *kg.* di ghiaccio per fondere consuma la quantità di calore che è capace di innalzare da 0° a 79° circa, la temperatura di 1 *kg.* di acqua, o circa 79 calorie.

Quindi, per determinare il calore specifico di un corpo con questo metodo si determina il suo peso P, e lo si riscalda fino ad una temperatura t; poscia lo si mette nel ghiaccio fondente, e si determina esattamente il peso P′ dell'acqua che proviene dalla fusione del ghiaccio. Ciò posto, se c è il calore specifico del corpo, ciascun *kg.* del medesimo raffreddandosi di 1° cede c calorie, e raffreddandosi di t^0 cede $c\,t$ calorie, e P *kg.* cedono P $t\,c$ calorie. D'altra parte per fondere P′ *kg.* di ghiaccio si richieggono $P' \times 79$ calorie. Dunque, se il calore ceduto dal corpo è stato tutto quanto impiegato a fondere il peso P′ di ghiaccio, avremo l'eguaglianza

$$P\,c\,t = P'\,79,$$

d'onde si ricava

$$c = \frac{P' \times 79}{P\,t} \qquad \ldots\ldots (1)$$

10. Il **calorimetro a ghiaccio** più semplice è quello detto *pozzo di ghiaccio*, di Blak, che consiste in un blocco di ghiaccio in cui si pratica un foro, il quale si copre con una lastra pure di ghiaccio (fig. 31).

Si pesa il corpo di cui si vuole determinare il calore specifico, e poi lo si riscalda fino a 100°; indi si solleva il coperchio, si getta nella cavità il corpo, che raffreddandosi fino a 0° fa fondere del ghiaccio. Allora aperto il calorimetro si raccoglie accuratamente l'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio, con una spugna o carta da filtro, che si pesa prima e dopo; l'aumento di peso è il ghiaccio fuso nell'esperienza.

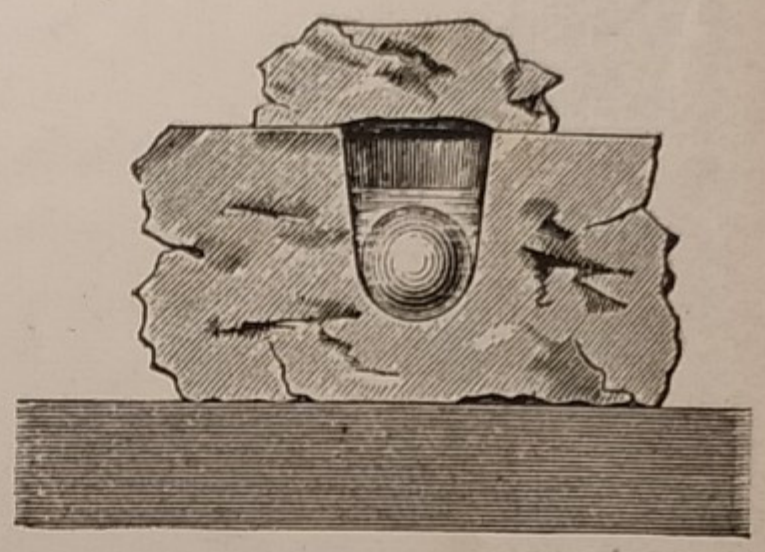


Fig. 31.

Tale metodo presenta l'inconveniente che dovendosi impiegare del ghiaccio assai grosso, non si è mai sicuri che l'interno sia perfettamente a 0°, al principio dell'esperienza, ed è infatti generalmente un poco al disotto di tale temperatura.

11. Calore specifico dei liquidi. — Per determinare il calore specifico dei corpi liquidi si mettono in tubetti sottili di vetro di cui si conosce il peso e il calore specifico, e quindi il numero delle calorie da essi cedute all'acqua o al ghiaccio, il quale si sottrae dal numero totale. Si ottiene così la quantità di calore perduta dal liquido solo, d'onde si ricava il suo calore specifico.

12. Risultati sperimentali intorno al calore specifico dei corpi: 1° *Fatta eccezione dell'idrogeno, il cui calore specifico, come vedremo, è* 3, 4 *e di alcune soluzioni acquose, l'acqua è il corpo che ha il massimo calore specifico* = 1; *quello di tutti gli altri corpi essendo inferiore a* 1, come si scorge nel seguente quadro dato da Regnault e Person.

2° *Uno stesso corpo ha un calore specifico più elevato nello stato liquido che nello stato solido*, il che è pure dimostrato dai numeri che seguono.

	STATO SOLIDO			STATO LIQUIDO		
	Calore specifico c	Fra le temperature		Calore specifico c	Fra le temperature	
Acqua	0,5050	— 30°	e 0°	1,0000	0°	e 20°
Nitrato sodico	0,2782	0	100	0,4130	320	430
Nitrato potassico	0,2387	0	100	0,3318	350	435
Zolfo	0,2026	0	100	0,2340	120	150
Fosforo	0,1788	— 14	7	0,2045	50	100
Bromo	0,0843	— 78	— 20	0,1060	— 12	48
Stagno	0,0562	0	100	0,0637	250	350
Iodo	0,0541	0	100	0,1082	....	....
Piombo	0,0314	0	100	0,0402	350	450
Bismuto	0,0308	0	100	0,0363	280	380
Mercurio	0,0319	....	....	0,0333	0	100

3° *I calori specifici dei solidi e liquidi crescono col crescere della temperatura.* Il che dimostra la seguente tabella di Dulong e Petit.

Sostanza		Ferro	Mercurio	Zinco	Antimonio	Argento	Rame	Platino	Vetro
Calore specif. medio tra	0° e 100°	0,1098	0,0330	0,0927	0,0507	0,0567	0,0949	0,0335	0,177
	0° e 300°	0,1218	0,0350	0,1015	0,0549	0,0611	0,1013	0,0353	0,190

13. Variabilità del calore specifico. — Infine *il calore specifico, per una medesima sostanza, varia colla struttura o coesione*, siccome si scorge, per es., nel seguente specchio dato da Regnault, pel calore specifico medio fra 0° e 100° delle diverse varietà del carbonio:

carbone di legna 0,241,
coke 0,204,
grafite. 0,197,
diamante . . . . . 0,147.

14. Fenomeni che si interpretano mediante il calore specifico. — L'elevato calore specifico dell'acqua diminuisce gli eccessi della temperatura nei mari e rende più miti i climi delle spiagge, perchè le correnti marine che dalla zona torrida arrivano nelle zone temperate e glaciali portano con sè considerevoli quantità di calore che comunicano alle spiagge.

Perciò l'inverno è più mite nell'Irlanda che nell'alta Italia; il mirto vive colà all'aria libera sebbene nell'estate fresca non vi maturi l'uva.

Parimente, i terreni asciutti, calcari o sabbiosi, il cui calore specifico è solo 0,2 si riscaldano e raffreddano più rapidamente che le terre umide, il cui calore specifico è 0,5.

Se per es., una sola notte basta per abbassare la temperatura di un terreno senza humus e non argilloso, al punto da fare gelare una pianta che vi si trova, un terreno invece contenente dette sostanze e che ha maggior calore specifico non raggiunge questo minimo.

§ 10. Calore specifico dei gas.

1. Due calori specifici dei gas. — Il calore somministrato ad un corpo può produrre quattro effetti distinti cioè:

1° *Eseguire un lavoro esterno*, vincendo la pressione atmosferica mentre il corpo si dilata;

2° *Eseguire un lavoro interno*, vincendo le forze molecolari che si oppongono all'allontanamento delle molecole;

3° *Eseguire un lavoro chimico*, vincendo l'affinità degli atomi costituenti le molecole, siccome avviene nelle scomposizioni chimiche;

4° *Aumentare la forza viva molecolare*, cioè la temperatura del corpo.

Ora considerando solo i casi in cui il calore produce gli effetti del riscaldamento e della dilatazione, è da avvertire che nei solidi questa è così piccola, che il lavoro esterno, per piccoli riscaldamenti, è trascurabile, mentre è rilevante il lavoro interno, perchè in essi è grande la coesione. Invece nei gas che si dilatano assai più è rilevante il lavoro esterno, mentre è trascurabile il lavoro interno, perchè in essi l'attrazione molecolare è debolissima.

Pertanto, nel considerare il calore specifico di un gas, si debbono distinguere due casi: 1° quello in cui esso può liberamente dilatarsi, cioè, è *a volume variabile e pressione costante;* 2° quello in cui esso è contenuto in un recipiente che non gli permette la dilatazione, nel quale caso aumenta solo la sua pressione, cioè, esso si trova a *volume costante e pressione variabile.*

Ora, siccome nella dilatazione di un corpo sotto la pressione atmosferica avviene un lavoro esterno, il quale consuma calore, consegue che il calore specifico di un gas a pressione costante deve essere maggiore del calore specifico a volume costante di tutta la quantità di calore che viene consumata nel lavoro esterno della dilatazione. Così, il calore specifico dell'aria a volume costante è 0,16844, e quello a pressione costante è 0,23751.

2. Calore specifico dei gas a pressione costante. — Esso venne dapprima (1813) determinato da Delaroche e Bérard, e poi (1850) più esattamente da Regnault, facendo circolare in un serpentino, contenuto in un calorimetro ad acqua, una corrente costante di gas, in modo che avesse la medesima pressione per tutto il tragitto e per tutta la durata dell'espe-

rienza. Il gas entrava nel calorimetro dopo essere stato riscaldato a temperatura piuttosto elevata, e vi rimaneva abbastanza per uscirne colla temperatura stessa dell'acqua. Dal riscaldamento di questa e dalla sua massa, fatte le debite correzioni, si può dedurre il numero delle calorie cedute da una determinata quantità di gas, e quindi il suo calore specifico.

Nella seguente tabella sono indicati i calori specifici a volume variabile determinati da Regnault.

Calori specifici a pressione costante.

GAS	A PESO c	A VOLUME cd
Aria	0,2377	0,2377
Ossigeno	0,2175	0,2405
Azoto	0,2438	0,2368
Idrogeno	3,4090	0,2360
Ossido di carbonio (CO)	0,2450	0,2371
Cloro	0,1210	0,2976
Anidride carbonica (CO_2)	0,2167	0,3316
Protossido d'azoto (N_2O)	0,2262	0,3454
Idrogeno protocarbonato (metane, CH_4)	0,5929	0,3308
Idrogeno bicarbonato (etilene, C_2H_4)	0,4040	0,3923
Anidride solforosa (SO_2)	0,1544	0,3464
Acido cloridrico (HCl)	0,1850	0,2364
Ammoniaca (NH_3)	0,5084	0,3000
Idrogeno solforato (H_2S)	0,2432	0,2896

I numeri della 1ª colonna sono i calori specifici c a peso, cioè, indicano quante calorie sono richieste per riscaldare di 1° 1 Kg. di gas, a pressione costante. I numeri poi della 2ª colonna sono i *calori specifici a volume*, cioè le calorie necessarie per riscaldare volumi eguali dei diversi gas. Questi si ottengono semplicemente moltiplicando i numeri della 1ª colonna per le densità d o pesi specifici dei gas relativi all'aria (*).

(*) Essendo $d = \frac{M}{V}$, siccome nel nostro caso $M = 1$, cioè è la massa di 1 *kg.*, risulta $d = \frac{1}{V}$, e moltiplicare il calore specifico a peso eguale, per la densità, equivale a dividere il calore specifico a peso, pel volume di pesi eguali (1 *kg.*) dei diversi gas, ossia a determinare il numero delle calorie necessarie per riscaldare di 1° l'unità di volume. Per es., il gas idrogeno avendo una densità $d = 1/14$ circa di quella dell'aria, ossia a parità di peso un volume circa 14 volte maggiore, moltiplicando il numero delle calorie richieste per riscaldare di 1° 1 *gr.* di idrogeno per la sua densità relativa all'aria, si viene a dividere il detto n° per 14, e quindi a determinare il numero delle calorie necessarie per riscaldare l'unità di volume.

Ordinariamente si considera il calore specifico a peso.

Di più, è da notare che, per i primi cinque gas, i numeri della 2ª colonna sono presso a poco eguali. Dunque, *pei gas più lontani dalla liquefazione, il calore specifico di volumi eguali è eguale.*

Quindi per la legge di Avogadro, che: *volumi eguali di varii gas, in eguali condizioni di temperatura e pressione, hanno egual numero di molecole*, si può asserire che, *per riscaldare d'un grado una molecola dei gas più lontani dalla liquefazione occorre una stessa quantità di calore.*

Inoltre Regnault ha trovato che, *pei detti gas più lontani dalla liquefazione il calore specifico è indipendente dalla temperatura*, mentre per gli altri aumenta alquanto col crescere di quella. Ciò significa che i *gas perfetti richieggono eguali quantità di calore per acquistare eguali aumenti di volume, sotto pressione costante.*

Il che giustifica l'uso di questi gas siccome corpi termometrici.

3. Calore specifico dei gas a volume costante. — Si è già notato che il calore specifico a pressione costante deve essere maggiore del calore specifico a volume costante di tutta la quantità di calore necessaria per la dilatazione del gas. Ora, il secondo calore specifico non si può misurare direttamente coll'esperienza, ma si può determinare il suo rapporto col calore specifico a pressione costante, d'onde poi si ricava l'altro.

Rappresentando con C *il calore specifico a pressione costante*
» » *c* » » *volume costante,*

il rapporto $\frac{C}{c}$, che si indica con k, è presso a poco lo stesso pei gas più lontani dalla liquefazione, pei quali

si ha $$k = \frac{C}{c} = 1{,}41$$

mentre per quelli meno lontani dalla liquefazione ha valore alquanto diverso.

§ 11. Fusione e solidificazione.

1. Trasformazioni di stato fisico. — Il secondo effetto del calore si è di produrre nei corpi cangiamenti nello stato di aggregazione.

Si dànno quattro cangiamenti di stato d'aggregazione dei corpi: 1° il passaggio dallo stato solido allo stato liquido, che dicesi: *fusione* o *liquefazione;* 2° il passaggio inverso dallo stato liquido al solido, che dicesi: *solidificazione o congelazione*, 3° il passaggio dallo stato liquido allo stato aeriforme che chia-

masi *vaporizzazione*; 4° il passaggio inverso dallo stato aeriforme allo stato liquido, che chiamasi *condensazione dei vapori*.

In questo § si tratta solo dei due primi, cioè della fusione e solidificazione.

2. Due modi di fusione. — La maggior parte dei solidi, come il vetro, le resine, la cera, i corpi grassi, e perfino certi metalli, come il ferro, il piombo, e sovratutto certe leghe, prima di fondere si rammolliscono, divengono pastosi, cioè passano per uno stato intermedio fra il solido e il liquido. Tale maniera di fusione si dice *vitrea*, perchè è assai distinta nel vetro, sul quale fatto è appunto fondata la lavorazione del medesimo.

In altri corpi, come il ghiaccio, lo zolfo, questo stato intermedio è meno sensibile, e il passaggio dallo stato solido al liquido è più deciso.

3. Sostanze fusibili e refrattarie. — Altra volta si distinguevano le sostanze solide in *fusibili* e *refrattarie* secondochè era possibile, o no, la loro fusione. Ma oggidì mediante la fiamma ossidrica, e sovratutto coll'arco voltaico, si fondono e volatilizzano anche le sostanze più refrattarie; cosicchè con tal nome, si comprendono solo più quelle che richieggono temperature elevatissime per fondere, come l'argilla, la calce, il platino, l'iridio.

Il carbone e il metallo osmio sono le sole sostanze che non si sono ancora lasciate fondere: però con fortissime correnti elettriche si rammollisce e volatilizza anche il carbone.

4. Corpi che si decompongono pel calore. — Infine riguardo alla fusibilità, è da notare che le sostanze organiche, siccome la carne, il legno, il cuoio, la carta, le stoffe, ecc., riscaldate all'aria libera, non si liquefano, perchè si scompongono in gas combustibili che si accendono e bruciano. Ma riscaldandole in recipienti chiusi e fuori del contatto dell'aria si riducono pure in materie liquide.

Così pure il marmo, che è una combinazione di anidride carbonica e di ossido di calcio ($Ca\ CO_3 = Ca\ O + CO_2$), riscaldato all'aria libera si scompone in anidride carbonica (CO_2) che siccome corpo gassoso si sviluppa, e in ossido di calcio ($Ca\ O$). Così appunto si prepara la calce colla pietra calcare, che è carbonato di calcio più o meno impuro. Ma se si impedisce la dissociazione dei due elementi costituenti, riscaldando il calcare in

vaso chiuso, si riesce anche a liquefare questa sostanza. Infatti Hall chiuse ermeticamente minuzzoli di marmo in una canna da schioppo, che poi riscaldò all'incandescenza, indi lasciata raffreddare la canna ed apertala, ne ricavò del marmo solido in forma di globetti, indizio della subìta fusione.

5. Leggi della fusione. — Quando il fenomeno della fusione è ben distinto, come pel ghiaccio, si verificano le seguenti leggi:

1° *Ogni corpo, quando riceve calore fonde a temperatura determinata (temperatura o punto di fusione), la quale varia da un corpo ad un altro.*

2° *Per tutto il tempo che dura la fusione la temperatura del corpo rimane stazionaria quantunque esso riceva calore dall'esterno.*

La prima legge è dimostrata dalla seguente *tabella delle temperature di fusione e di solidificazione*, poichè, come vedremo, la temperatura della solidificazione è la stessa di quella della fusione. Però, vi sono divergenze fra le temperature di fusione e di solidificazione assegnate da diversi sperimentatori, le quali sono dovute, in parte al detto stato intermedio fra il solido e il liquido, in parte alle impurità chimiche delle sostanze ed alle difficoltà che presentano le misure delle temperature elevate, ed infine a diverse cause che possono far variare la temperatura della fusione, e sovratutto quella della solidificazione, come vedremo più innanzi.

PUNTI DI FUSIONE E DI SOLIDIFICAZIONE

Iridio	Da	1800°	(Bunsen)	a 1950° (Violle)
Palladio		1500	(Violle)	1700 (Vauca)
Platino		1780	(Holborn)	2000 (Deville)
Ferro battuto		1600	(Pouillet)	
Ghisa grigia		1100		1200
» bianca		1050		1100
Acciaio		1300		1400
Oro		1035	(Violle)	1250 (Pouillet)
Rame		1054	id.	1398 id.
Ottone		1015		
Argento		916	(Becquerel)	1223 (Daniell)
Zinco		412	(Daniell)	415 (Person)
Stagno		223	(Ermann)	233 id.

Bismuto	246	262
Vetro	1000	1400
Zolfo rombottaedrico	105 (Berzelius)	115 (Persone Kopp)
Cadmio	315 (Wood)	320 (Rudberg)
Piombo	322 (Dalton)	334 (Kupffer)
Selenio, si rammollisce	40 (Wülner)	50 (Berzelius)
Selenio, fonde completamente.	150	250
Sodio	90 (Quincke)	98 (Regnault)
Potassio	58	
Acido stearico	70	
Cera bianca	64	69
» gialla	61	64
Paraffina	46 (Bunsen)	
Fosforo	44 (Kopp)	46 (Heinrich)
Sego	33	
Burro	31	33
Ghiaccio	0	
Essenza di trementina	— 10	
Bromo	— 25 (Liebig)	— 8 (Pierre)
Mercurio	— 39,44 (Hutchins)	—39,38 (Cavendish)
Anidride solforosa	— 76	
» carbonica	—116 (Wroblewski)	
Solfuro di carbonio	—110 id.	
Protossido d'azoto	—115	
Alcool assoluto	—130,5 (Wroblewski)	

La seconda legge, cioè la costanza della temperatura, si manifesta specialmente con quei corpi che hanno un punto di fusione ben distinto, come il ghiaccio, perchè un termometro immerso nel medesimo rimane stazionario, cioè non cangia di volume, durante tutta la fusione, benchè il ghiaccio riceva calore dalla sorgente che lo fa fondere, cioè dall'ambiente o da una fiamma. Sul quale fatto è appunto fondata la determinazione dello zero dei termometri centigrado e ottantigrado.

Però, affinchè questa legge si verifichi, bisogna che la parte del corpo che viene fusa, possa prontamente allontanarsi da quella ancora solida, come appunto avviene nella fusione del ghiaccio in un recipiente bucherellato al fondo; mentre invece se si facesse fondere il corpo in un recipiente chiuso inferiormente, allora la parte già fusa non potendo allontanarsi dalla parte solida, verrebbe riscaldata dalla sorgente di calore, e la costanza della temperatura non si verificherebbe più.

Nei corpi poi in cui la fusione è graduale, cioè avviene il rammollimento, la costanza della temperatura è meno sensibile, e si assume come *punto di fusione* la temperatura alla quale le variazioni di volume del termometro sono più lente.

Quindi la temperatura di fusione è la temperatura massima che possa acquistare un solido, sotto una data pressione, poichè, come vedremo, la temperatura di fusione di un medesimo corpo varia alquanto colla pressione.

6. Temperatura di fusione delle leghe. — Mentre certi corpi composti, come il ioduro e bromuro d'argento, hanno un punto di fusione intermedio fra quello dei corpi costituenti, *le leghe metalliche presentano la rimarchevole proprietà che, in generale, la loro temperatura di fusione è inferiore a quella del metallo più fusibile che entra nelle medesime.*

Così, la lega detta di Arcet, costituita da 8 parti di bismuto, 5 di piombo, 3 di stagno, fonde a 94°, mentre il più fusibile di questi metalli, lo stagno, fonde solo a 225° circa.

Lo stesso avviene per le altre leghe notate nella seguente tabella.

LEGA di	COMPOSIZIONE CENTESIMALE				Punto di fusione	Formola chimica
	Bismuto	Stagno	Piombo	Cadmio		
Wood	55,74	13,73	13,73	16,80	65 a 70°	$Bi_4\,Sn_2\,Pb\,Cd_2$
Lipowitz ..	49,98	12,76	26,89	10,38	80 a 85	$Bi_{11}\,Sn_5\,Pb_6\,Cd_3$
Rose	48,907	23,553	27,545	—	90°, 25	$Bi_7\,Sn_6\,Pb_4$
D'Arcet ..	49,048	21,200	29,752	—	90 a 95°	$Bi_{13}\,Sn_{10}\,Pb_8$

Perciò, se si sospende una verga di una di queste leghe al collo di un pallone contenente acqua portata all'ebollizione, si vede quella ridursi in goccioline che cadono in questa. E così pure cucchiajni fatti con dette leghe si fondono nel caffè bollente.

Codesto abbassamento della temperatura di fusione delle leghe rispetto ai metalli che le compongono si spiega, secondo Matthiessen, per la minore reciproca attrazione di molecole di natura diversa.

Così pure l'acciaio è più fusibile del ferro puro, sebbene contenga il quasi infusibile carbonio. I metalli puri vengono resi più fusibili addizionandoli con altri. I crogiuoli di platino si fondono nei luoghi in cui non sono puri. Anche le mescolanze di acidi grassi mostrano tale abbassamento della temperatura di fusione.

Le sostanze che facilitano la fusione di altre si dicono *fondenti*. Così nella fabbricazione del vetro, alla silice si aggiunge potassa, soda e calce, che la rendono più fusibile; nelle saldature, specialmente degli oggetti d'oro e d'argento, si aggiunge il borace, che è un fondente degli ossidi metallici.

La saldatura deve essere più fusibile dei metalli che si vogliono unire insieme. Così una lega formata con $^2/_3$ di stagno e $^1/_3$ di piombo fonde a 171°, e serve perciò a saldare oggetti di stagno, il cui punto di fusione è 225° circa.

Ma gli utensili di rame per cucina debbono essere stagnati con stagno puro, e non con questa lega più fusibile, perchè in contatto con le vivande può far nascere dei sali di piombo, i quali sono assai più nocivi che non quelli di rame; cosicchè sarebbe minor male che non fossero stagnati, anzichè esserlo con lega di piombo.

Infine è da notare che si danno anche casi contrarii cioè leghe la cui temperatura di fusione è maggiore di quella dei metalli costituenti. Così mentre l'alluminio fonde a 625° e l'antimonio a 432°, una lega di questi due metalli resiste ad una temperatura di 1100°, senza fondere.

7. Calore di fusione. — Se la temperatura di un corpo che fonde non cresce, quantunque esso riceva calore dall'esterno (n. 5), si deve concludere che il calore che fa fondere un corpo non ne eleva la temperatura, ovvero, che nella fusione dei corpi viene consumata una certa quantità di calore.

Il calore consumato nella *fusione* del ghiaccio è dimostrato dalla seguente esperienza. Se si mescola 1 *kg.* di acqua liquida a 0° con 1 *kg.* di acqua a 79°, si ottengono 2 *kg.* di acqua ad una temperatura media di 39°,5. Se invece si mescola 1 *kg.* di acqua solida, cioè di neve o di ghiaccio pesto, con 1 *kg.* di acqua a 79°, si ottengono 2 *kg.* di acqua a 0°.

Dunque, la fusione di 1 *kg.* di ghiaccio consuma la quantità di calore che è capace di innalzare la temperatura di 1 *kg.* di acqua da 0° a 79°, cioè 79 calorie circa.

Effetto del calore di fusione è il grande freddo che si prova quando un pezzo di ghiaccio fonde in contatto colla mano.

Similmente avviene cogli altri corpi.

Però, pesi eguali di corpi diversi richieggono per fondere diversa quantità di calore. Quindi si chiama *calore di fusione: la quantità di calore che è necessaria per la fusione di* 1 *kg. di un corpo.*

Il calore di fusione si spiega nella teoria meccanica del calore osservando, che per fondere un corpo, si deve vincere la coesione, cioè eseguire il lavoro della disaggregazione molecolare mediante il calore, e ogni chilogrammetro di lavoro consuma $^1/_{427}$ di caloria

Quindi, nel caso del ghiaccio, non tenendo conto del piccolo lavoro esterno, che in questo caso aiuta la fusione, perchè esso si contrae nel fondersi, il lavoro della disaggregazione molecolare richiesto dalla fusione di 1 *kg.* di questa sostanza è circa $79 \times 427 = 33733$ chilogrammetri.

Il grande calore di fusione del ghiaccio è la causa del lento sciogliersi del medesimo, e del lento innalzamento della temperatura nella primavera, per il gran consumo di calore che fanno le nevi per fondersi. Quando nei paesi freddi queste mancano, la vegetazione si sviluppa troppo presto, e rimane poi esposta ai danni dei freddi tardivi.

8. La solidificazione. — La solidificazione o congelazione di un liquido è il fenomeno inverso della fusione, cioè il passaggio dallo stato liquido al solido.

In esso si verificano le seguenti leggi corrispondenti a quelle della fusione.

1ª legge: *Ogni corpo cui viene sottratto calore si solidifica ad una temperatura determinata, che è quella stessa della sua fusione*

Così, se una massa di ghiaccio è alla temperatura di 0°, ogni addizione di calore determina la fusione di una parte della medesima; ed inversamente, se una massa d'acqua ha la temperatura di 0°, ogni sottrazione di calore determina la solidificazione o congelazione di una parte del liquido.

Quando si tratta di corpi che passano per lo stato pastoso nel fondere, essi ripassano pure per tale stato nel solidificarsi, e

non raggiungono la solidificazione completa che alla temperatura a cui cominciano a rammollirsi nella fusione.

2ª legge: *Per tutto il tempo che dura la solidificazione, la temperatura del corpo rimane stazionaria, quantunque l'ambiente gli sottragga calore.*

Il che proviene da ciò che la parte solidificantesi restituisce a quella ancora liquida tutto il calore che aveva assorbito nel fondere, cioè il calore di liquefazione, e compensa così la sottrazione del calore.

9. Effetti del calore di solidificazione. — Il calore libero di solidificazione, che, per uno stesso corpo, è eguale a quello di liquefazione, è la causa della lenta congelazione dei fiumi, laghi e mari; perchè il calore sviluppato dalla congelazione di una parte ne mantiene liquida un'altra, finchè non sia disperso.

Il calore di solidificazione contribuisce pure a sviluppare calore in molte chimiche combinazioni in cui le sostanze si solidificano, per es. nello spegnere la calce coll'acqua.

Nella fabbricazione dei canali di cemento risulta riscaldamento per il calore di solidificazione del medesimo.

Il riscaldamento degli scaldini delle ferrovie col metodo Ancelin consiste nel mettere in questi, invece dell'acqua calda, una soluzione di acetato di sodio, che raffreddandosi, da 80° a 40°, cede una maggiore quantità di calore dell'acqua pura, specialmente per il calore di fusione che si rende libero nella solidificazione del detto sale.

10. Cangiamento di volume nella fusione e nella solidificazione. — In generale, nella fusione un corpo aumenta di volume e diminuisce di densità; perciò le porzioni del corpo non ancora fuse stanno al disotto della parte già liquefatta, come si osserva nella fusione della cera, dello zolfo, ecc.

Ma vi sono corpi, come l'acqua, la ghisa, il bismuto, l'antimonio, l'argento, i quali fanno eccezione, cioè per la fusione diminuiscono di volume e aumentano di densità; perciò i frammenti solidi di questi corpi galleggiano sulla parte liquefatta. Così il ghiaccio galleggia sull'acqua.

Le eccezioni si spiegano osservando che i detti corpi constano di nuclei cristallini di tale forma, e così disposti, che tra di essi vengono a trovarsi molti vuoti, i quali spariscono nella fusione,

e perciò, malgrado che i detti nuclei si dilatino anche essi, il volume totale diminuisce.

La forza espansiva dell'acqua nel solidificarsi è grandissima, per modo che non solo spezza i vasi di vetro in cui è racchiusa, ma anche quelli di metallo a pareti robustissime. Già gli Accademici del Cimento (1670) videro spezzarsi una sfera cava di rame a pareti assai grosse, piena di acqua esposta a intenso freddo.

Nel gennaio 1875 Edward William, a Quebec, avendo esposto all'aria fredda bombe riempite d'acqua ed ermeticamente chiuse con un tappo di ferro, vide questo per sette volte proiettato a considerevole distanza nella congelazione, mentre un candelotto di ghiaccio usciva pel foro. In un'ottava esperienza la temperatura esterna essendo discesa a $-24°$, la bomba scoppiò, e per la fenditura ne uscì una lamina di ghiaccio, indicando così che l'acqua si era mantenuta liquida a quella bassa temperatura per la grande pressione, e si era congelata all'atto dell'espansione.

Martins e Chancel avendo ripetute tali esperienze con un miscuglio frigorifico, calcolarono che la pressione che fece scoppiare la bomba era di 550 atmosfere.

Perciò i tubi delle acque potabili si rompono nell'inverno quando l'acqua vi si congela; le pietre dei selciati e dei muri vengono spostate; le roccie vengono ridotte in frammenti dall'acqua che penetra nelle loro fenditure; la linfa che si congela nei vasi delle piante, quando in una primavera precoce succedono abbassamenti notevoli della temperatura, li lacera.

Così pure le pietre dette *gelive*, che ritengono acqua, si disaggregano quando questa si solidifica.

Per questa stessa causa nell'inverno non si possono fare lavori in muratura all'aria libera, poichè, soppravvenendo il gelo, l'acqua della calce agghiaccia e si dilata, disaggregando la calce stessa e rendendola inetta a servire da mastice.

Alla proprietà della ghisa di aumentare di volume nella solidificazione è dovuta la sua proprietà di modellarsi nelle forme in cui viene versata fusa.

11. Influenza della pressione sulla temperatura della fusione e della solidificazione. — Le temperature di fusione dei corpi indicate dalla tabella sono quelle che si verificano sotto

la pressione atmosferica. Ma col variare di questa varia la temperatura della fusione, come pure quella della solidificazione, secondo le seguenti leggi prevedute dalla teoria meccanica del calore e verificate dall'esperienza.

1° *Per quei corpi i quali passando dallo stato solido allo stato liquido aumentano di volume, la pressione, che si oppone a tale aumento, fa crescere la temperatura necessaria per la fusione.*

2° *Invece, per i corpi che diminuiscono di volume fondendo, la pressione, che favorisce tale diminuzione, fa scendere la temperatura necessaria per la fusione.*

Per il ghiaccio però le variazioni del punto di fusione colla pressione sono estremamente piccole.

12. Temperatura di solidificazione delle soluzioni saline. — La temperatura di congelazione delle soluzioni saline è sempre inferiore a quella dell'acqua, e l'abbassamento cresce col crescere della quantità di sale disciolto.

Così l'acqua con	1	p. 100 di sale di cucina, congela a	—	0°,6
»	2	»	»	— 1°,2
»	10	»	»	— 6°,

Nella solidificazione delle soluzioni saline, l'acqua si congela in ghiaccio libero di sale; quindi si concentra il sale dell'acqua del mare, lasciandola congelare in spazii chiusi, per utilizzare quella non congelata, che è più ricca di sale.

13. Determinazione del calore di fusione di un corpo. — La determinazione del calore di fusione dei corpi è fondata sul fatto, che questo calore è eguale a quello che si rende sensibile nella solidificazione, e perciò si ottiene quello misurando questo. Si usano a tale scopo i metodi stessi che servono a determinare i calori specifici.

14. Soprafusione. — Un corpo può in certe condizioni conservare lo stato liquido anche a temperature inferiori a quella della sua solidificazione. Questo fenomeno dicesi *surfusione* o *iperfusione* o *soprafusione*. Esso può avvenire per parecchie cause.

Si dimostra per es., tale fenomeno per l'acqua mediante un termometro a mercurio (fig. 32), il cui bulbo è circondato da un altro più grande contenente acqua che si è fatta bollire qualche tempo per espellerne l'aria, e poi venne chiuso alla lampada.

Immergendo lo strumento in un miscuglio frigorifico di ghiaccio e sale, finchè il termometro a mercurio indichi una temperatura di 5° o 6° sotto lo zero, e poi togliendolo dal miscuglio, si vede che l'acqua circostante al termometro è ancora liquida, ma agitandola, la si vede congelarsi repentinamente, mentre il termometro risale repentinamente allo zero, per il calore di fusione che si rende libero nella sodificazione.

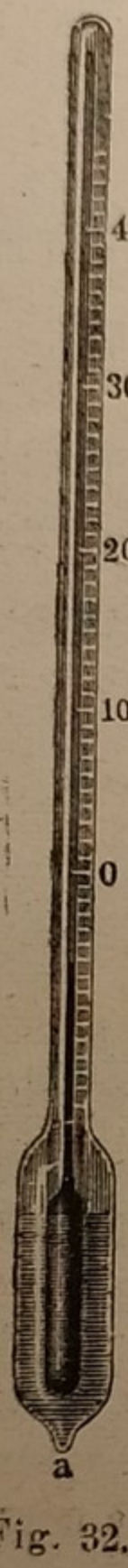


Fig. 32.

La stessa esperienza si può eseguire facendo bollire acqua in un vaso aperto, ricoprendola con uno strato d'olio, grosso 2 a 4 millimetri, che la ripara dal contatto dell'aria, ed infine lasciandola raffreddare tranquillamente.

Lo stesso fenomeno può essere presentato da quasi tutte le sostanze, quando sieno fuse in recipienti chiusi, e poi lasciate raffreddare tranquillamente, sovratutto se fuori del contatto dell'aria. Esse si solidificano poi repentinamente per uno scuotimento, o meglio per l'agitazione con una bacchetta di vetro, o meglio ancora, col gettare nella massa liquida pezzetti della stessa sostanza solida.

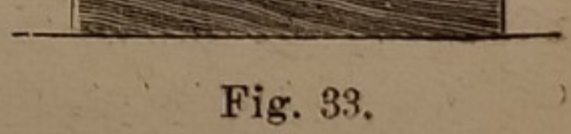


Fig. 33.

15. Soprafusione dell'iposolfito sodico. — La surfusione è anche dimostrata dalla esperienza di Bötger. Si riscalda un matraccio (fig. 33) contenente iposolfito sodico polverizzato, alla cui bocca è applicato un tappo traversato da un termometro, e si osserva il sale fondere nella propria acqua di cristallizzazione a + 48°; poi, lasciato tranquillo, può rimanere liquido fin sotto ai 30°. Ma scuotendolo, o meglio lasciando cadere nel medesimo un cristallino dello stesso sale, tosto si solidifica, e allora il termometro risale ai 48°, pel calore libero di solidificazione.

Lo stesso sale può servire replicatamente per lo stesso esperimento. Ma perchè il matraccio non si rompa pei cangiamenti di temperatura il sale deve riempirlo solo per metà circa.

16. Come si interpreta la soprafusione. — *Questi fatti si spiegano* osservando che la solidificazione richiede, in generale, non solo accostamento delle molecole, ma anche un assetto particolare delle medesime, del

che dànno indizio le irregolarità della dilatazione dei liquidi, e specialmente dell'acqua in prossimità del punto di congelazione, come pure il cangiamento repentino di volume che accompagna quello dello stato fisico. Ora, per l'inerzia delle molecole può avvenire che, malgrado esse si trovino alla temperatura della solidificazione, non piglino le disposizioni speciali dello stato solido, finchè un urto non determini tale aggruppamento. Ma se questo impulso è troppo violento, allora, sia pel calore sviluppato dallo scuotimento, sia perchè questo impedisce alle molecole di assumere le posizioni corrispondenti allo stato solido, viene impedita la solidificazione.

Quindi si conclude che, la temperatura di fusione e quella di solidificazione sono indipendenti dalla rapidità del riscaldamento o del raffreddamento, e coincidono fra loro purchè si eviti la soprafusione, gettando p. es., di quando in quando nella massa liquida pezzetti solidi della stessa sostanza, e purchè si escludano i casi in cui i corpi per riscaldamento subiscono modificazioni permanenti, come sono le decomposizioni chimiche, ecc.

17. Soprasaturazione. — Fenomeno analogo alla *soprafusione* è la *soprasaturazione.* Una soluzione non satura di un sale si può render satura, o lasciando evaporare il solvente, o aggiungendovi di quel sale, oppure raffreddandola. Ora, nel raffreddarla, può avvenire che si oltrepassi la temperatura di saturazione senza che essa abbandoni il sale. Allora si dice che la soluzione è *soprasatura*, perchè in essa il sale è in condizioni analoghe a quelle di un liquido in soprafusione.

Le soluzioni soprasature si possono ottenere come i liquidi soprafusi, cioè lasciandole raffreddare lentamente, escluso il contatto dell'aria. Se poi si dà accesso all'aria in una soluzione soprasatura, sovente essa abbandona del sale. Lo stesso si ottiene introducendo nella medesima una bacchetta di vetro, o strofinando con questa la parete interna del recipiente, e meglio poi col farvi cadere cristalli del sale medesimo, od isomorfi, cioè dello stesso sistema cristallino.

Così se si fa bollire una soluzione di due parti di solfato sodico in una parte d'acqua, quindi si chiude ermeticamente il matraccio, e si lascia raffreddare lentamente la soluzione, essa rimane liquida; ma aprendo poscia il recipiente avviene rapidamente la cristallizzazione in tutta la massa del liquido.

Fig. 33.

E nella deposizione del sale dalla soluzione soprasatura, si osserva costantemente un aumento di temperatura, per causa del calore libero di solidificazione il che dimostra che anche nella cristallizzazione avviene svolgimento di calore.

L'acqua del mare congela a $-2°,2$; però essa, per essere sempre più o meno agitata, può essere sovraraffreddata, e allora congela solo per maggiore raffreddamento, o pel contatto di corpi solidi, specialmente con nuclei di ghiaccio o neve; e questo avviene con tale rapidità, che sovente il mare repentinamente si agghiaccia; ma pel calore della solidificazione, e per la soluzione salina concentrata che rimane, si riduce solo in una poltiglia di ghiaccio.

§ 12. Miscugli frigorifici.

1. Freddo prodotto dalla soluzione dei solidi nei liquidi. — Quando un solido si scioglie in un liquido avviene passaggio dallo stato solido allo stato liquido, e quindi consumo di calore come nella fusione per riscaldamento.

Infatti, se si mette sale di cucina, o meglio nitrato di ammoniaca ($H_3N + HNO_3 = H_4N_2O_3$) nell'acqua, e si rimesta la mescolanza con un termometro, questo indica un notevole raffreddamento.

Il calore sparito dipende naturalmente dalle proporzioni fra il solido ed il solvente, perchè si deve distinguere il *calore di soluzione*, cioè il calore consumato nella liquefazione del solido, il quale cresce colla quantità di questo, e il *calore di diluizione*, che è il calore consumato nell'allontanamento delle molecole del solido, il quale cresce colla quantità del liquido.

Di più, nella dissoluzione di un solido in un liquido, si debbono distinguere due fenomeni termici contrarii, cioè la fusione del solido, la quale consuma calore, e l'unione più o meno intima delle molecole del solido con quelle del liquido, la quale sviluppa calore, e secondo che prevale il primo o il secondo effetto può nascere raffreddamento o riscaldamento.

Così, mescolando 100 *gr.* di acido solforico mono-idrato (H_2SO_4, H_2O) con 202 *gr.* di neve, i due effetti si compensano e la temperatura non varia Diminuendo la quantità della neve prevale il calore della combinazione, e il miscuglio si riscalda; si raffredda invece se si aumenta la quantità della neve.

2. Miscugli frigorifici. — Sul fatto dell'abbassamento di temperatura prodotto dalla soluzione, sono fondati i *miscugli frigorifici.*

Si distinguono 4 generi di miscele frigorifere:

1° *Miscele di acqua e sali;*
2° *Miscele di ghiaccio, o neve, e sali;*
3° *Miscele di ghiaccio, o neve, e acidi;*
4° *Miscele di acidi e sali.*

Al *primo genere* appartiene, ad esempio, la soluzione di nitrato ammonico nell'acqua, di cui si è già parlato. La sottrazione del calore dipende dalla proporzione relativa del sale e dell'acqua, e dalla loro temperatura iniziale.

Con questa miscela si può al più raggiungere la temperatura di — 17°,5, perchè il raffreddamento è prodotto dalla liquefazione del solido, e alla detta temperatura, il sale, anzichè sciogliersi, si deposita insieme al ghiaccio che si è formato.

Nelle *miscele frigorifere del secondo genere* è compresa quella con cui si fanno i gelati, composta di 2 pesi di ghiaccio pesto o neve, e 1 di sale marino, la quale somministra un freddo da 0° a — 22°.

In questo caso ambi i corpi si liquefanno, e perciò il consumo di calore è più abbondante che non coll'acqua liquida.

Il recipiente contenente la sostanza che si vuole raffreddare colla miscela si circonda con questa, collocata in un altro di legno, materia non conduttrice del calore, affinchè il calore che viene consumato nella fusione e nella dissoluzione della miscela venga il più possibile sottratto al corpo in quella immerso.

Dalla soluzione si può poi estrarre il sale, riscaldandola fino all'ebollizione, cioè a 129°, e poi agitandola con una spatola di legno mentre si raffredda, in modo che si riduca in polvere.

Un maggiore raffreddamento si può ottenere, mescolando 10 parti, in peso, di cloruro calcico ($CaCl_2 + 6H_2O$) con 7 di neve. Così si arriva da 0° a — 51°, quando la neve è asciutta, e le due sostanze finamente divise.

Esempio di miscele del 3° genere è quella di neve ed acido solforico in convenienti pròporzioni, e del 4° genere quella di solfato sodico con acido cloridrico, ma sono poco usate.

§ 13. Rigelazione del ghiaccio.

1. Esperienze. — Quando si comprimono alquanto, l'un contro l'altro, due pezzi di ghiaccio, le cui superfici sono fondenti, essi si saldano assieme. Questo fenomeno venne da Faraday (1850) denominato *rigelazione del ghiaccio*.

Esso è già provato dalle pallottole di neve, le quali si ottengono appunto comprimendola colle mani, in modo da saldare i cristallini di ghiaccio che la costituiscono. Ora queste pallottole non riescono se la neve è asciutta e polverulenta, ma solo quando è umida, cioè le superfici dei cristallini sono fondenti. Gli scolari sanno che la neve asciutta e polverulenta dopo una notte molto fredda non si lascia ridurre in pallottole. Le loro mani non possono esercitare la grande pressione che si richiederebbe per tale effetto.

Sul detto fenomeno è fondato il seguente interessante e semplice esperimento. Si appoggiano su due sostegni, per es., sugli schienali di due sedie, le estremità di un pezzo di ghiaccio alquanto lungo (fig. 34), e poi si colloca a cavalcioni sul medesimo un filo metallico sottile, teso inferiormente da due pesi eguali. Il filo taglia tutto il ghiaccio successivamente dall'alto in basso senza che le due parti cadano, perchè le due superfici separate superiormente si saldano di nuovo, a misura che il filo scende. L'unica traccia del passaggio del medesimo attraverso al ghiaccio consiste in una disposizione diversa delle bollicine d'aria, per cui rimane nella sua massa una superfice opaca.

Fig. 34.

2. Plasticità del ghiaccio. — Per il fenomeno della rigelazione, il ghiaccio mediante pressione acquista una certa *plasticità*, per cui lo si può modellare entro forme. Infatti, se mediante un torchio si comprime un pezzo di ghiaccio fra due pezzi di legno aventi ciascuno una cavità semilenticolare, si ottiene una lente di ghiaccio trasparente, la quale può fare l'ufficio delle lenti di vetro. Così pure, si può incurvare il ghiaccio, obbligandolo a passare per un tubo ricurvo.

In grazia di questa plasticità che il ghiaccio deve alla rigelazione, esso si comporta come un corpo vischioso. Perciò i ghiacciai scendono dalle montagne, modellandosi nelle valli secondo le forme e i giri di queste, a guisa dell'acqua dei fiumi, e formando persino delle *cascate di ghiaccio*.

§ 14. Tensione dei vapori.

1. Vaporizzazione dei liquidi. — I liquidi pel riscaldamento si riducono in corpi aeriformi, che diconsi *vapori*, ed il fenomeno denominasi *vaporizzazione*. Esso può avvenire in due maniere, cioè alla superficie ovvero nell'interno del liquido.

La vaporizzazione superficiale si distingue col nome di *evaporazione*. Ce ne presentano esempio le acque che si trovano alla superficie della terra, le quali evaporano continuamente sotto l'influenza del calore solare, e sollevandosi nell'atmosfera, per raffreddamento di nuovo si condensano, e ricadono in forma di pioggia, o neve, o grandine. Così pure l'acqua contenuta in un bicchiere esposto all'aria, massime nella state, in pochi giorni sparisce, per evaporazione superficiale.

Altri liquidi evaporano ancora più facilmente che l'acqua. Così, se una boccetta piena di alcool, od etere, o di qualche essenza si lascia aperta, il liquido sparisce più prontamente che l'acqua, perchè si riduce più facilmente in vapore. Invece gli olii grassi evaporano più difficilmente.

Quindi i liquidi si distinguono in *volatili* e *fissi*, secondochè all'ordinaria temperatura si riducono facilmente in vapore, ovvero no.

Sono liquidi volatili l'acqua, l'alcool, l'etere, la benzina, le essenze, ecc.

Invece, sono liquidi fissi gli olii grassi e sovratutto l'acido solforico.

Il mercurio non è un liquido fisso, ma neppure molto volatile.

Vi sono anche solidi volatili, cioè che emettono direttamente, alla temperatura ordinaria, vapori dalla loro superficie; tali sono il ghiaccio, la canfora, l'arsenico. Del resto la maggior parte dei solidi divengono volatili a temperature elevate.

La vaporizzazione che avviene nell'interno di un liquido, quando viene riscaldato, e che consiste nello svolgimento continuo di bolle di vapore dal fondo del recipiente, le quali si distaccano, si sollevano, e vengono a scoppiare alla superficie, si dice *ebollizione*.

2. Vapori saturi e non saturi. — I vapori si distinguono dapprima in *non saturi* e *saturi*, secondochè permettono, o no, una maggiore evaporazione al liquido da cui provengono, e con cui sono in contatto.

Per es., per conservare in una boccetta un liquido volatile, come l'etere, o un'essenza, si richiede che essa sia ermeticamente chiusa, perchè così, al disopra del liquido si forma del vapore saturo, il quale impedisce l'ulteriore evaporazione di quello. Invece, se essa non è ermeticamente chiusa, il liquido sparisce più o meno rapidamente, perchè il vapore che si forma al di sopra potendo diffondersi nell'aria non è mai saturo, epperciò permette continuamente l'evaporazione del liquido.

Veramente, non è che il vapore saturo impedisca alle molecole di liquido di distaccarsi dalla superficie del medesimo, e pigliare lo stato aeriforme, ma bensì il numero di quelle che si distaccano in un dato tempo è eguale al numero di quelle che ricadono, e rimangono di nuovo aderenti al medesimo, e così la quantità del vapore sovrastante al liquido rimane costante.

3. Tensione dei vapori. — I vapori hanno, come i gas, una tendenza ad espandersi, che si dice *tensione*, o *forza elastica dei vapori*, la quale cresce col crescere della temperatura. Sulla medesima sono appunto fondate, come vedremo, le macchine a vapore.

Si può dimostrare nelle scuole la tensione dei vapori, mediante un tubo di vetro, piegato ad U, con un ramo corto e chiuso, e l'altro lungo e aperto. Vi si versa un poco di mercurio e poi, inclinando opportunamente il tubo, si fa uscire l'aria dal ramo corto e si riempie questo di quel liquido. Indi si versa nel ramo aperto un poco d'etere, ed inclinando opportunamente il tubo si fa venire questo liquido nel ramo chiuso al di sopra del mercurio. Allora introducendo il ramo chiuso in un bicchiere contenente acqua calda, si vede il mercurio discendere rapidamente nel ramo chiuso e salire nell'aperto, perchè spinto dal vapore di etere che rapidamente si forma.

Introducendo il ramo chiuso nell'acqua fredda tosto il vapore d'etere si liquefa nuovamente e il mercurio risale nel medesimo.

L'esperienza si può così ripetere più volte.

4. Leggi della produzione e tensione dei vapori. — La formazione dei vapori saturi e non saturi, e il rapporto della loro tensione colla temperatura, obbediscono alle seguenti leggi.

1ª legge: *Mentre nell'aria l'evaporazione è lenta, nel vuoto è rapidissima.*

2ª legge: *A parità di temperatura la forza elastica dei vapori saturi varia dall'uno all'altro.*

Le enunciate leggi si possono dimostrare mediante 4 tubi barometrici (fig. 35), contenenti mercurio fino all'altezza barometrica nel luogo in cui si fa l'esperimento, e immersi inferiormente nel mercurio di una comune vaschetta. Uno di essi (*a*) si lascia come indicatore della pressione barometrica, mentre negli altri tre si introducono goccie di liquidi diversi, siccome etere, alcool, acqua, mediante pipette ricurve, la cui punta si fa entrare nell'estremità aperta inferiore di ciascun tubo, sollevandolo alquanto senza estrarlo dal mercurio. Si osserva così che le prime goccie arrivando nel vuoto barometrico spariscono immediatamente, perchè si riducono in vapore che fa deprimere la colonna di mercurio, mentre le successive, giungendo nel vapore già formato e saturo, rimangono allo stato liquido, e perciò non producono ulteriore depressione, il che dimostra la 1ª legge e il fenomeno della saturazione.

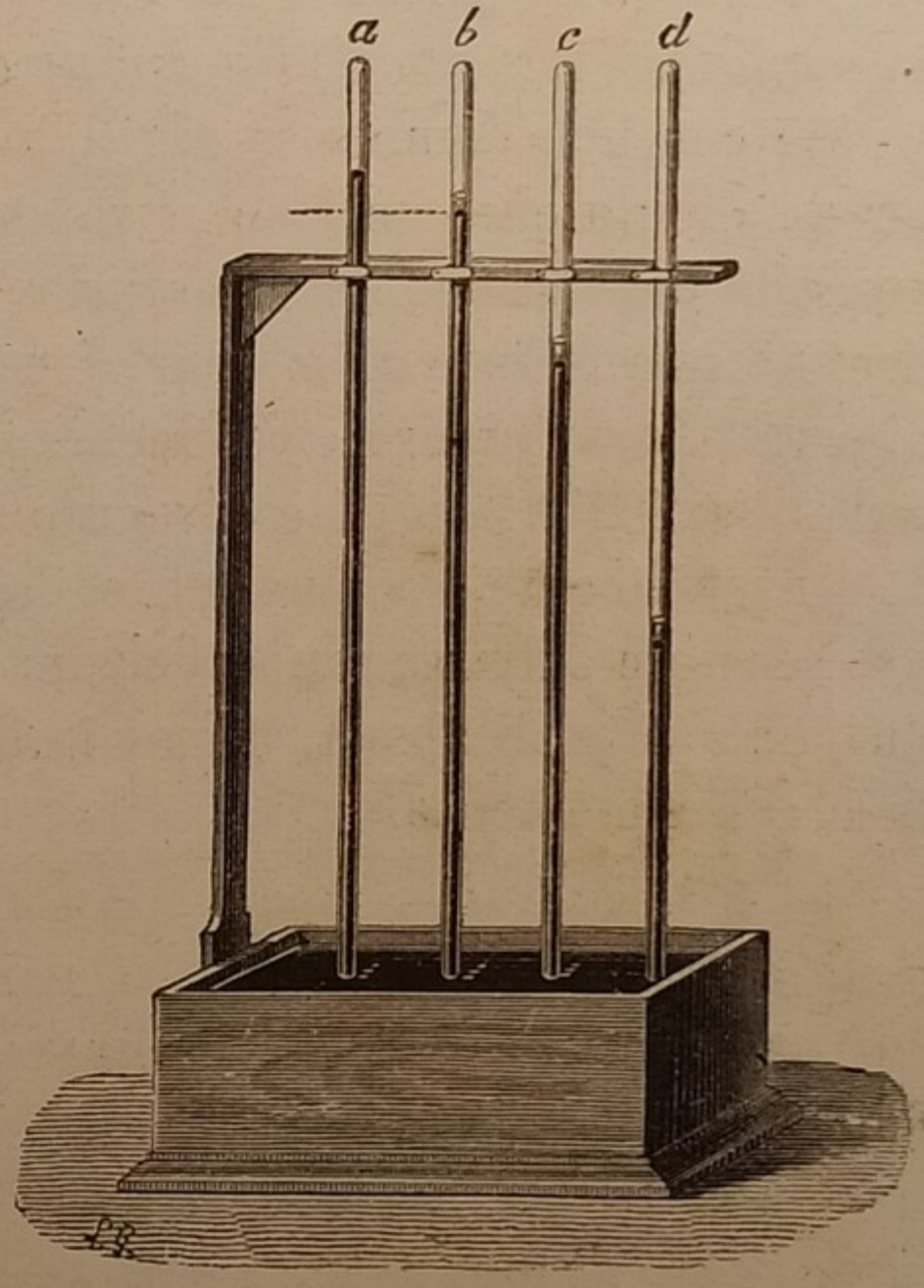


Fig. 35.

Di più, si osserva che la depressione prodotta dal vapore saturo alla temperatura dell'ambiente è massima per l'etere, minima per l'acqua, media per l'alcool; il che dimostra la 2ª legge.

Questa depressione misura la forza elastica di ciascun vapore alla temperatura dell'ambiente, perchè quella prodotta dal vapore di mercurio alle temperature ordinarie, come vedremo, è solo una piccola frazione di *mm.*, e perciò trascurabile.

Così, alla temperatura di 20°, la depressione è:

per l'acqua	17	millimetri
» l'alcool	60	»
» l'etere	400	»

3ª legge: *La quantità di un vapore necessaria per saturare un dato spazio e la forza elastica del vapore saturo crescono col crescere della temperatura.*

Se con una fiamma si riscalda alquanto uno dei tre tubi, per es. quello che contiene il vapor d'etere, si osserva: 1° che cresce la depressione del mercurio; 2° che diminuisce lo strato di etere sovrastante al mercurio, perchè una parte di esso somministra nuovo vapore, essendochè, pel riscaldamento, quello preesistente si è dilatato ed è divenuto non saturo.

Inversamente avviene raffreddando il tubo esternamente col fare scorrere sulla sua superficie un pezzo di ghiaccio, o di cotonina imbevuta di alcool, o meglio di etere, che evaporando produce raffreddamento.

4ª legge: *Un vapore lontano dalla saturazione, quando viene compresso, o dilatato, si comporta come un gas, cioè la sua pressione è in ragione inversa del suo volume e la sua densità è in ragione diretta della pressione, secondo la legge di Boyle. Invece, un vapore saturo in contatto col proprio liquido possiede una densità e tensione massima che non variano, quando se ne fa mutare il volume senza mutarne la temperatura.*

Perchè, se si comprime un vapore saturo una parte di esso si condensa, in modo che nel diminuito spazio rimane solo la quantità di vapore necessaria per saturarlo; epperciò, a parità di temperatura, la sua pressione è la stessa di quello che esisteva in maggiore copia nel maggior volume; se invece si aumenta lo spazio in cui si trova il vapore saturo in contatto col proprio liquido, quello diviene non saturo, e perciò permette la formazione di nuovo vapore, finchè nell'aumentato volume vi sia di nuovo va-

pore saturo, il quale avrà la densità e pressione primitiva, se non è variata la temperatura.

Anche questa legge si verifica sperimentalmente con appropriati istrumenti di misura.

5ª legge: *Se un vapore saturo, in contatto col suo liquido, viene riscaldato, la sua tensione non cresce solo di* $^1/_{273}$ *per ogni grado, come pei gas, ma più rapidamente, perchè si sviluppa nuovo vapore la cui tensione si somma con quella risultante dall'aumento della temperatura. Inversamente, se il vapore saturo viene raffreddato, la sua tensione diminuisce più di* $^1/_{273}$ *per ogni grado, perchè, oltre la diminuzione della tensione per l'abbassamento della temperatura, avviene anche una condensazione parziale del vapore.*

Questa legge è dimostrata dalle tabelle della tensione dei vapori, dalle quali, come vedremo, risulta che la tensione dei vapori per riscaldamento cresce più rapidamente della temperatura.

Pertanto un vapore non saturo risulta nelle seguenti 3 *maniere:*

1° *Quando un assai grande spazio contiene solo piccola quantità di liquido;*

2° *Quando il vapore saturo separato dal suo liquido viene lasciato espandere conservando costante la sua temperatura;*

3° *Quando, rimanendo costante il suo volume, viene aumentata la temperatura del vapore saturo.*

Per quest'ultimo modo con cui può nascere il vapore non saturo, lo si dice anche *sovrariscaldato*. Se il sovrariscaldamento è piccolo, esso ha proprietà prossime a quelle dei vapori saturi; se è grande, ha proprietà simili a quelle dei gas, ed oltre un certo limite un vapore soprariscaldato è un vero gas.

Inversamente, *un vapore non saturo o sovrariscaldato diviene saturo:*

1° *Quando a temperatura costante viene compresso in modo che una parte si liquefi;*

2° *Quando, rimanendo costante il volume, viene raffreddato finchè una parte si liquefi;*

3° *Quando viene messo in contatto col suo liquido.*

5. Tensione del vapore in due vasi comunicanti, a diverse temperature, o principio della parete fredda. — *Quando due recipienti contenenti uno stesso liquido sono a temperatura diversa, se essi non comunicano fra loro ciascuno contiene del vapore saturo, la cui tensione corrisponde alla propria temperatura. Ma se vengono messi in comunicazione, allora la tensione del vapore nei medesimi può solo essere eguale a quella corrispondente alla minore temperatura.*

Per esempio, se due palloni (fig. 36) contenenti acqua e vuoti d'aria si trovano l'uno (A) a 0°, e l'altro (B) a 100°, finchè non comunicano fra loro la tensione è di 4,6 *mm.* nel primo, e di 760 *mm.* nel secondo, essendo queste, come vedremo, le tensioni del vapore acqueo saturo alle dette temperature. Ma se i due vasi vengono messi in comunicazione fra loro, allora il vapore con maggiore tensione che si trova in uno di essi (B) passa nell'altro (A), ove si condensa, perchè ivi si trova già vapore saturo.

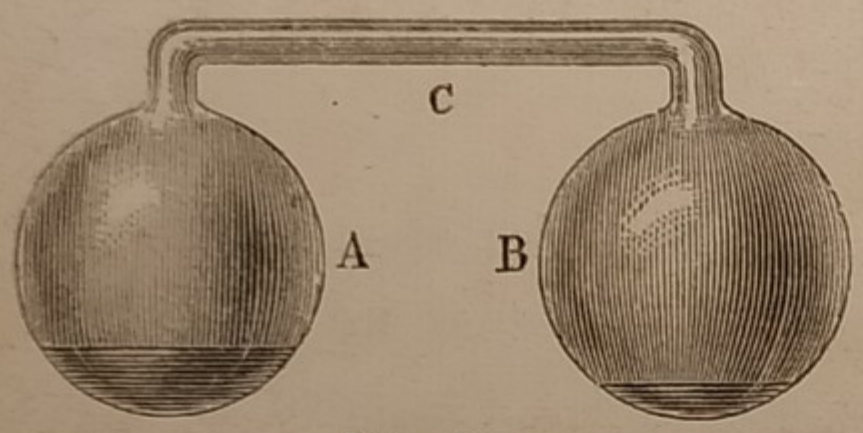


Fig. 36.

Codesto processo di distillazione dura finchè si trova liquido in B, e quando questo è tutto evaporato, una parte del vapore rimanente in B passerà ancora in A, finchè nei due recipienti esso abbia la tensione di 4,6, che non può oltrepassare in A; e perciò in B rimarrà del vapore sovrariscaldato colla tensione di 4,6 *mm.*

Questo principio, detto della *parete fredda*, venne scoperto da Watt, il quale ne fece un'importante applicazione al condensatore delle macchine a vapore.

6. Risultati sperimentali. — La seguente tabella contiene i risultati delle esperienze di Regnault relativamente alla tensione del vapor acqueo saturo, ove T indica la temperatura e P la tensione del detto vapore alla corrispondente temperatura.

Tensione massima del vapore acqueo in *mm.* di mercurio, alla latitudine di Parigi (48°, 50′) secondo Regnault.

T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
— 32	0,320	8	8,017	31	33,41	54	111,9	77	313,5	100	760,0 = 1 at
— 30	0,386	9	8,574	32	35,36	55	117,5	78	326,8	102	816,1
— 25	0,605	10	9,165	33	37,41	56	123,2	79	340,5	104	875,4
— 20	0,927	11	9,792	34	39,56	57	129,3	80	354,6	106	938,5
— 15	1,400	12	10,46	35	41,83	58	135,5	81	369,3	108	1003
— 10	2,093	13	11,16	36	44,20	59	142,0	82	384,4	110	1075 = 1 1/2 at
— 9	2,267	14	11,91	37	46,69	60	148,8	83	400,1	115	1269
— 8	2,455	15	12,70	38	49,30	61	155,8	84	416,3	120	1491 = 2 at
— 7	2,658	16	13,54	39	52,04	62	163,2	85	433,0	125	1744
— 6	2,876	17	14,42	40	54.91	63	170,8	86	450,3	130	2030
— 5	3,113	18	15,36	41	57,91	64	178,7	87	468,2	135	2354 = 3 at
— 4	3,368	19	16,37	42	61,05	65	186,9	88	486,6	140	2718
— 3	3,644	20	17,39	43	64,35	66	195,5	89	505,7	145	3326 = 4 at
— 2	3,941	21	18,49	44	67,79	67	204,4	90	525,4	150	3581
— 1	4,263	22	19,66	45	71,39	68	213,6	91	545,7	160	4652
0	4,600	23	20,89	46	75,16	69	223,2	92	566,7	170	5962 = 8 at
1	4,940	24	22,18	47	79,09	70	233,1	93	588,3	180	7546 = 10 at
2	5,302	25	23,55	48	83,20	71	243,4	94	610,7	190	9442
3	5,687	26	24,99	49	87,50	72	254,1	95	633,7	200	11689 = 16 at
4	6,097	27	26,50	50	91,98	73	265,1	96	657,4	210	14325
5	6,534	28	28,10	51	96,66	74	276,6	97	681,9	220	17390 = 23 at
6	6,998	29	29,78	52	101,50	75	288,5	98	707,2	225	19097
7	7,492	30	31,55	53	106,60	76	300,8	99	733,2	230	20926 = 27,5 at

Le pressioni in atmosfere corrispondenti alle diverse temperature sono più minutamente indicate nella seguente tabella.

Le piccole differenze fra le temperature indicate nella precedente e in questa tabella, in corrispondenza delle pressioni, derivano da ciò, che in quella le pressioni in atmosfere sono notate in corrispondenza della temperatura più prossima.

Tensioni del vapore d'acqua in atmosfere da 100 a 230,9.

Temperature	Atmosfere	Temperature	Atmosfere
100,0	1	198.8	15
120,6	2	201,9	16
133,9	3	204,9	17
144,0	4	207,7	18
152,2	5	210,4	19
159,2	6	213,6	20
165,3	7	215,5	21
170,8	8	217,9	22
175,8	9	220,3	23
180,3	10	222,5	24
184,5	11	224,7	25
188,4	12	226,8	26
192,1	13	228,9	27
195,5	14	230,9	29

Tensioni dei vapori di diversi liquidi. — Vennero anche determinate le tensioni dei vapori di altri liquidi, come l'alcool, l'etere, ecc., alcune delle quali sono indicate nella seguente tabella; in essa si scorge che i liquidi più volatili posseggono la tensione di 760^{mm}, ossia di 1 atmosfera, a temperatura più bassa.

Tabella delle tensioni dei vapori saturi di diversi liquidi

Liquidi	Temperature	Tensioni in millimetri di mercurio
Mercurio	0°	0,02
	+ 20°	0,04
	+ 50°	0,11
	+ 100°	0,75
	+ 357°	760,00 = 1 at
Alcool etilico ($C_2 H_6 O$) o spirito di vino	0°	13,00
	+ 50°	220,00
	+ 78°	760,00 = 1 at
	+ 100°	1685,00
Etere etilico ($C_4 H_{10} O$)	— 20°	9,00
	0°	182,00
	+ 35°	760,00 = 1 at
	+ 60°	1728,00
	+ 100°	4920,00
Ammoniaca ($H_3 N$)	— 36°	760,00 = 1 at
	— 80°	1 at
Anidride carbonica (CO_2)	0°	35,00
	+ 45°	100,00

§ 15. Densità dei vapori e mescolanze dei vapori coi gas.

1. Densità dei vapori. — *Si denomina densità o peso specifico di un vapore: il numero che esprime il rapporto fra il peso di un volume del medesimo ed il peso di egual volume di aria, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione.*

Rappresentando adunque con d la densità di un vapore, e con P, P′ i pesi di volumi eguali v, di vapore e di aria, alla stessa temperatura t e pressione B, è per definizione:

$$d = \frac{P}{P'}.$$

Per vapori fortemente sovrariscaldati, cioè molto lontani dal punto di saturazione, *la densità rimane costante col variare della temperatura e della pressione*, perchè tali vapori obbediscono, come l'aria, alle leggi di Boyle e

di Gay-Lussac; vale a dire il peso di un volume di vapore molto sovrariscaldato cangia colla pressione e colla temperatura nello stesso modo che per l'aria, cosicchè il rapporto dei due pesi si conserva costante; e quantunque anche le piccole deviazioni da quelle leggi, pel vapore e per l'aria possano essere diverse, pure tale diversità è troppo piccola, per dare luogo ad un misurabile cangiamento della densità di vapore. Così il peso del vapor acqueo, lontano dal punto di saturazione, secondo Gay-Lussac è sempre $=0{,}6235$, ovvero $^5/_8$ del peso di un egual volume di aria alla stessa temperatura e pressione.

Quindi, pei vapori sovrariscaldati, si possono usare le medesime formule che pei gas per risolvere problemi analoghi.

Fig. 37.

Quando, all'incontro, *i vapori si avvicinano alla saturazione*, le deviazioni dalle leggi di Boyle e di Gay-Lussac divengono assai forti, perchè i vapori saturi contengono gruppi molecolari semi-liquidi; perciò il rapporto del peso di un volume di vapore prossimo alla saturazione a quello di un pari volume d'aria sarà più grande dello stesso rapporto per vapori non saturi, cioè la densità di vapore cresce verso il punto di saturazione, per divenire massima nello stato di saturazione. In generale, il peso specifico dei vapori si può ritenere costante finchè il sovrariscaldamento è tale che la tensione non arrivi a 0,85 della tensione massima che hanno nello stato di saturazione.

2. Mescolanze dei vapori coi gas. — Antecedentemente si è studiata la vaporizzazione nel vuoto barometrico, in cui la presenza del vapore di mercurio, che ha debolissima tensione, è trascurabile. La vaporizzazione in presenza dell'aria, o di altro gas, avviene più lentamente, perchè le molecole, che si distaccano dalla massa liquida, urtando contro quelle del gas possono essere respinte indietro verso il liquido, cui restano di nuovo aderenti; ma questo non fa altro che allungare il tempo richiesto per la saturazione dello spazio sovrastante al liquido, permodochè le mescolanze dei gas e dei vapori, che non esercitano azione chimica tra loro, obbediscono assai approssimativamente alle seguenti leggi dette di Dalton (1801).

1° *La tensione e la densità del vapore che satura un dato spazio, a parità di temperatura è sempre la stessa, sia che questo spazio contenga un gas o che sia vuoto. La sola differenza sta in ciò che nel* 1° *caso l'evaporazione è più lenta che nel* 2°.

2° *La forza elastica della mescolanza eguaglia la somma delle forze elastiche del gas e del vapore mescolati.*

3. Prova sperimentale. — Questa si può dare coll'apparecchio di Gay-Lussac (fig. 37), costituito da un largo tubo graduato *t*, chiuso superior-

mente, e comunicante in basso con un altro tubo graduato *s*, più stretto ed aperto in alto, mentre al disotto di questo il tubo grande è masticiato in una tubulatura di ferro munita di chiavetta *r*.

Dopo che si è riempito tutto l'apparecchio di mercurio, si mette il tubo *s* in comunicazione con un altro contenente cloruro di calcio, e poi si apre la chiavetta *r* per fare uscire mercurio, cosicchè entri per V nel tubo *t* una certa quantità di aria secca. Indi si chiude la chiavetta e si versa mercurio nel tubo *s* finchè il liquido sia allo stesso livello nei due rami, per ridurre l'aria racchiusa in *t* alla pressione atmosferica. Dopo avere notato la divisione *n* a cui arriva il mercurio in *t* si versa un poco di liquido volatile nel tubo *s*, per es., acqua od etere, e si riapre la chiavetta *r* per fare penetrare in *t* un poco del detto liquido mentre ne esce del mercurio. Allora incomincia la vaporizzazione e il mercurio sale lentamente nel tubo *s*, a misura che nel tubo *t* si formano vapori che aggiungono la loro tensione a quella dell'aria, e poi si arresta, perchè il vapore è divenuto saturo e l'evaporazione cessa. Infine si versa mercurio nel tubo *s* finchè in *t* arrivi di nuovo in *n*. La differenza di livello nei due rami misurerà l'aumento di tensione prodotto dal vapore che si è aggiunto all'aria nel tubo *t*, la quale si verifica essere eguale alla depressione che lo stesso vapore produce nel vuoto barometrico alla stessa temperatura.

Per es., se il liquido introdotto nel tubo *t* è acqua, e se la temperatura è di 20° *C*, si osserva che la differenza di livello è eguale alla tensione del vapore acqueo saturo alla detta temperatura indicata dalla tavola della pagina 81, cioè 17,39 *mm*.

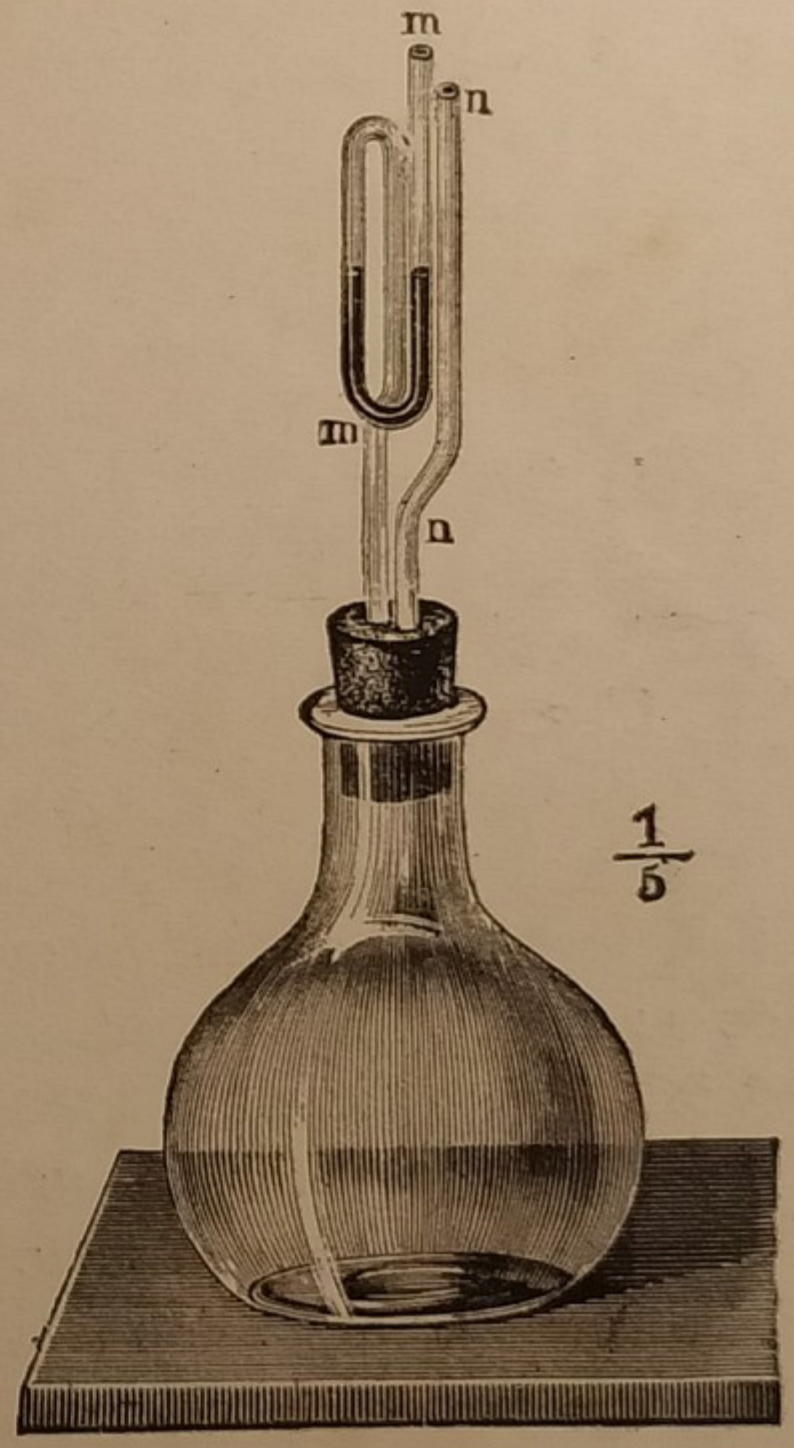


Fig. 38.

Per una semplice *illustrazione scolastica* di questa legge, abbastanza importante, può anche servire l'apparecchio rappresentato dalla fig. 38. Si applica alla bocca di una caraffa un tappo di gomma elastica traversato da due tubi, *nn*, *mm*, il secondo dei quali è doppiamente ricurvo e contiene un poco di mercurio, in modo che può servire da manometro. Introducendo pel tubo *nn* un poco di alcool, o di etere, e poi tappandolo ermeticamente, si vede il mercurio salire lentamente nel ramo *mm* aperto superiormente, per la pressione del vapore che si forma nell'interno del recipiente.

Così pure se si tura la bottiglia mentre è nell'acqua fresca, o meglio

nel ghiaccio, e poi la si pone in un ambiente a temperatura, p. es., di 20°, si vede che la pressione interna cresce, perchè cresce la quantità di vapore saturante lo spazio sovrastante al liquido della bottiglia, il quale vapore aggiunge la sua forza elastica a quella dell'aria.

Però Regnault (1854) con misure più precise ha verificato che *la detta legge non è rigorosa, ma che la tensione di un vapore è alquanto minore in un gas che nel vuoto, e che la differenza è tanto maggiore quanto più il liquido è volatile.* Infatti, mentre pel vapore aqueo trovò una differenza di 0,6 *mm.*, questa raggiunse 36 *mm.*, pel vapore d'etere.

Di più D. Berthelot ha dimostrato che: *la legge di Dalton non può essere vera che quando lo è la legge di Mariotte, e che si deve quindi considerarla semplicemente come una legge limite, applicabile ai gas molto rarefatti.*

4. Corollario. — Consegue dalla prima legge che, solo un'atmosfera di vapore saturo di un dato liquido può impedire l'evaporazione di questo, e che un'atmosfera di altro vapore o gas, per quanto compressa, non può impedire la vaporizzazione, finchè lo spazio sovrastante al liquido non ne contiene il vapore saturo.

§ 16. L'evaporazione.

1. Cause da cui dipende. — Si è già detto che la vaporizzazione si distingue in evaporazione ed in ebollizione, secondochè avviene alla superficie o nell'interno di un liquido.

L'evaporazione superficiale succede continuamente nei liquidi volatili esposti all'aria. Essa consiste semplicemente in un distacco delle molecole superficiali dalle rimanenti del liquido.

Quattro cause influiscono sull'evaporazione: 1° la temperatura; 2° il rinnovamento dell'aria; 3° l'estensione della superficie del liquido; 4° la pressione.

L'evaporazione, a parità delle altre condizioni, cresce col crescere della temperatura. — Infatti, l'acqua contenuta in un bicchiere evapora più rapidamente nella state che nell'inverno, anche a parità di condizioni atmosferiche, cioè di secchezza e pressione dell'aria.

Così pure, riscaldando i tubi barometrici nei quali si trovano le goccie liquide sovrastanti al mercurio, questa si abbassa perchè si forma nuovo vapore.

Il che avviene perchè, col crescere della temperatura del liquido, cresce la velocità e quindi la forza viva delle sue molecole, cosicchè esse più facilmente si distaccano dalle altre.

L'evaporazione cresce col rinnovamento dell'aria sulla superficie del liquido, perchè così viene tosto esportato il vapore saturo che impedisce l'ulteriore evaporazione di quello.

Perciò il suolo e le stoffe bagnate asciugano più presto quando spira il vento, e per avere pavimenti asciutti è necessario un opportuno rinnovamento dell'aria nei medesimi.

L'evaporazione cresce colla estensione della superficie del liquido, perchè cresce il numero dei punti da cui possono distaccarsi molecole liquide per pigliare lo stato aeriforme.

Perciò per estrarre il sale dalle acque del mare, si raccolgono queste in bacini ampii e poco profondi, ove esse evaporano abbondantemente, mentre il sale si deposita sulle pareti.

Infine l'evaporazione cresce col diminuire della pressione, e appunto si è già visto che nel vuoto barometrico i liquidi evaporano istantaneamente.

Perciò si concentrano i liquidi facendoli evaporare nel vuoto pneumatico.

2. — Dalton ha studiato l'**evaporazione nell'aria** misurando la massa M d'acqua che evaporava in un minuto, ed è giunto alla seguente formola:

$$M = C\,S\,(F - f)\,\frac{760}{B},$$

nella quale:

S è la superficie evaporante,

F è la tensione massima del vapore contenuto nell'aria alla temperatura del liquido,

f è la tensione attuale del vapore nell'aria stessa,

B è la pressione atmosferica,

C una costante che dipende dal movimento dell'aria.

Tale formola esprime la seguente legge: *la velocità dell'evaporazione è inversamente proporzionale alla pressione atmosferica e direttamente proporzionale alla superficie evaporante, ed alla differenza fra la tensione massima del vapore alla temperatura del liquido e la tensione del vapore nell'aria sovrastante.*

Perciò per evaporare i liquidi nell'aria conviene dare ai medesimi ampia superficie evaporante, e operare ad elevata temperatura, perchè colla temperatura aumenta la tensione massima F del vapore, e conviene che f sia piccola, al quale scopo l'aria deve essere secca, pel che si richiede opportuna ventilazione, il che conferma quanto si è detto innanzi.

§ 17. Leggi dell'ebollizione.

1. Fenomeno dell'ebollizione. — Questo consiste in una rapida e continua produzione di bolle di vapore che avviene al fondo del recipiente contenente un liquido, e le quali se ne distaccano per venire a scoppiare alla superficie.

Tale importante fenomeno, che avviene per tutti i liquidi, ad eccezione di alcuni che, come l'olio di colza, o di ravizzone, si scompongono nei loro elementi costituenti prima di bollire, richiede uno studio speciale.

Quando si riscalda un liquido, per es. acqua, in un vaso di vetro, dapprima si veggono svilupparsi numerose e piccolissime bollicine, le quali sono di aria che era disciolta nell'acqua, e che se ne sviluppa per l'aumentata temperatura, poichè la quantità di gas che si scioglie in un liquido diminuisce col crescere della temperatura.

Poscia, piccole bolle di vapore si distaccano dai punti più riscaldati della parete, ma esse, attraversando gli strati superiori, la cui temperatura non è ancora ufficientemente elevata, si condensano prima di arrivare alla superficie. La formazione e condensazione di queste prime bolle di vapore cagiona uno scuotimento nella massa liquida e nel vaso, a cui è dovuto il fremito che precede l'ebollizione. Si dice allora che *il liquido canta*, ed è indizio di prossima ebollizione.

Infine, bolle di vapore più o meno grosse si distaccano continuamente da alcuni punti del fondo del recipiente e vengono a scoppiare alla superfice. Allora il liquido *bolle*.

2. Condizioni per l'ebollizione. — Perchè avvenga l'ebollizione ordinaria si richieggono due condizioni.

1ª *Che nell'interno del liquido vi sieno bolle d'aria le quali permettano la produzione di bolle di vapore.*

2ª *Che queste acquistino una tensione capace di vincere la pressione cui sono sottoposte.*

Infatti, perchè dal fondo di un liquido possano svolgersi bolle di vapore, siccome avviene nel fenomeno della ebollizione, bisogna

prima che tali bolle possano formarsi, il che non può avvenire, se nel seno stesso del liquido non vi è alcun spazio non occupato dal medesimo, nel quale le sue molecole possano distaccarsi dalle rimanenti e pigliare lo stato aeriforme.

Nei casi ordinari, è appunto al fondo del liquido, in contatto colla parete del recipiente, che esistono bollicine d'aria aderenti a questo, perchè l'aria aderisce alla superficie dei corpi solidi, siccome lo dimostra l'osservazione che, mettendo nell'acqua un corpo solido, per es., un pezzo di vetro, o meglio di metallo, o di pietra, appaiono sulla sua superfice bollicine d'aria. Codeste bollicine gassose rimangono aderenti alla superficie del recipiente malgrado la spinta del liquido, perchè questa non può agire sulla loro faccia inferiore, per la quale appunto sono in contatto con quella. Ma esse divengono ben presto bolle di vapore saturo, la cui tensione va crescendo rapidamente colla temperatura, finchè diviene capace di spostare la parete liquida da cui sono circondate, e allora si sollevano. Però una parte di questa massa aeriforme rimane sempre ancora aderente alla parete, e questa permette la rapida formazione di una seconda bolla di vapore, che alla sua volta si apre il varco a traverso il liquido, per venire a scoppiare alla superficie e così di seguito.

Pertanto, le bolle di vapore saturo, che si formano al fondo del liquido, per svilupparsi e venire alla superficie debbono acquistare una tensione capace di vincere la resistenza che presenta al loro spostamento la parete liquida in cui sono racchiuse. Tale resistenza è evidentemente eguale alla pressione sovrastante alla superficie del liquido, più quella dovuta alla colonna liquida sovrastante alle bolle del vapore. La seconda pressione è ordinariamente piccola e trascurabile in confronto della prima; perciò è questa che determina specialmente la temperatura di ebollizione del liquido, secondo la legge che: *un liquido bolle quando la tensione del suo vapore saturo diviene capace di vincere la pressione sovrastante.*

Si può *dimostrare sperimentalmente l'influenza delle bolle d'aria sull'ebollizione*, portando al fondo del liquido, già prossimo a bollire, una bolla d'aria racchiusa in una piccola campanella, con orlo frastagliato, applicata all'estremità di un tubo di vetro (fig. 39). Riscaldando il liquido con una fiamma che col-

pisca la parete in corrispondenza di quella bolla, si vedono partire continuamente dalla medesima bolle di vapore.

Quindi si intende perchè le bolle di vapore si sollevino sempre dagli stessi punti del fondo, i quali sono appunto quelli ove esistono le bollicine gassose che permettono la formazione delle bolle di vapore.

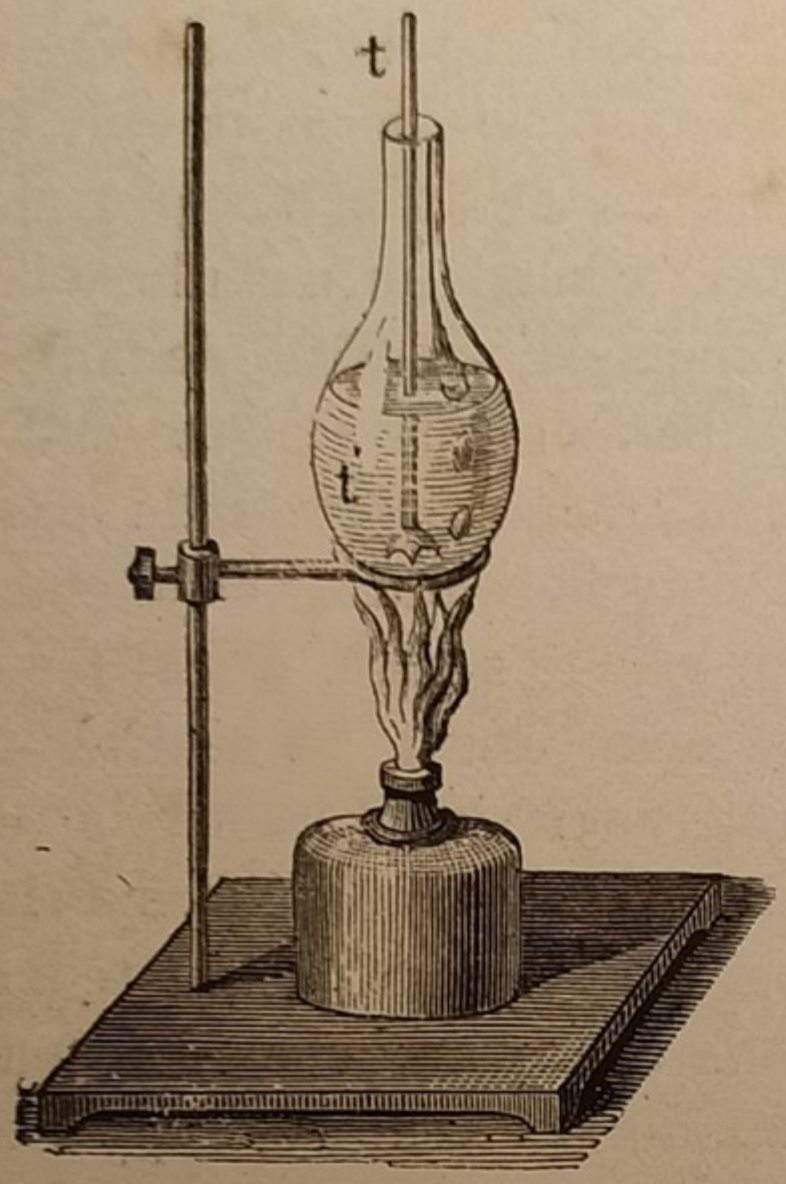


Fig. 39.

Se le bollicine gassose non sono presenti, allora avviene un *ritardo nell' ebollizione*, cioè il liquido richiede temperatura più elevata di quella a cui bollirebbe sotto la pressione a cui si trova, se contenesse le bollicine d'aria, e dicesi perciò *sovrariscaldato*.

Infatti se si lava un palloncino di vetro, prima coll'etere o l'alcool, poi coll'acido solforico caldo, per distaccare completamente l'aria aderente alla parete, e si risciacqua il tutto replicatamente, indi si mette nel palloncino un poco d'acqua già bollita, e in questa si immerge un termometro pure lavato coll'acido solforico, si vede che essa può essere riscaldata oltre i 100°, senza che bolla. Allora, se vi si getta un pezzetto di metallo o altra sostanza che porti al fondo del liquido le bollicine d'aria necessarie per l'ebollizione, ovvero, se vi si introduce una bolla d'aria, come nell'esperienza sopra descritta, l'acqua bolle immediatamente, e il termometro scende a 100° se la pressione è di 760 *mm*.

Perciò, coll'introduzione di bolle d'aria mediante campanelle, o con pezzetti di platino, si può rendere più facile e regolare la ebollizione di certi liquidi vischiosi, come l'acido solforico, i quali, per adesione alle pareti del vetro, scacciano via le bollicine d'aria, e bollono così tumultuosamente da mettere a repentaglio il recipiente di vetro o di porcellana.

Siccome ogni bolla di vapore che si svolge dal liquido, durante l'ebollizione, trascina seco un poco dell'aria che serve di

nucleo alla sua produzione, così si intende come, alla lunga, l'ebollizione in un medesimo recipiente riesca più difficile.

Il fenomeno del sovrariscaldamento dei liquidi è analogo a quello della surfusione e della sovrasaturazione.

Il *sovrariscaldamento nell'acqua è pure una delle cause delle esplosioni delle caldaie delle macchine a vapore.* Quando queste vengono lasciate in riposo per qualche tempo, può avvenire un sovrariscaldamento dell'acqua per la sua povertà d'aria, dovuta alla già prolungata ebollizione e allo stato di quiete. Quando poi la macchina viene messa in moto, e quindi l'acqua scossa, può succedere una repentina e violenta produzione di vapore, che può essere causa di esplosione, malgrado le valvole di sicurezza.

3. Leggi dell'ebollizione. — Pertanto il fenomeno dell'ebollizione ordinaria è governato dalle seguenti leggi:

1ª *Legge*: *Ogni liquido, sotto determinata pressione, bolle a temperatura fissa, che è quella alla quale il suo vapore ha una tensione capace di vincere la pressione cui è sottoposto.*

Così l'acqua bolle a 100° sotto la pressione atmosferica normale, perchè a tale temperatura il vapore acqueo saturo ha appunto una tensione eguale alla pressione atmosferica normale, cioè di 760 *mm.* di mercurio, siccome risulta dalla tabella della tensione del vapore acqueo a diverse temperature (pag. 81). L'alcool, più volatile che l'acqua, bolle a 78°, e l'etere a 35°, sotto la pressione atmosferica normale, perchè a quelle temperature il loro vapore possiede già una tensione eguale alla detta pressione.

L'enunciata legge può anche essere provata colla seguente esperienza. Prendesi un tubo di vetro ricurvo ad U (fig. 40), con un ramo corto chiuso, e l'altro lungo aperto. Si introduce nel ramo corto un poco d'acqua, e mercurio finchè giunga nel ramo lungo poco al di sopra della curvatura, come si vede in A. Quindi si sospende il tubo in un pallone che contiene acqua in ebollizione, in modo che esso sia circondato dal vapore; così esso acquista presto la temperatura dell'ebollizione dell'acqua contenuta nel ramo chiuso, e allora si vede il mercurio disporsi alla stessa altezza nei due rami, perchè la tensione massima del va-

pore acqueo saturo, che nasce dall'ebollizione dell'acqua, a 100°, e che agisce sul mercurio nel ramo chiuso, è eguale alla pressione atmosferica che agisce nel ramo aperto.

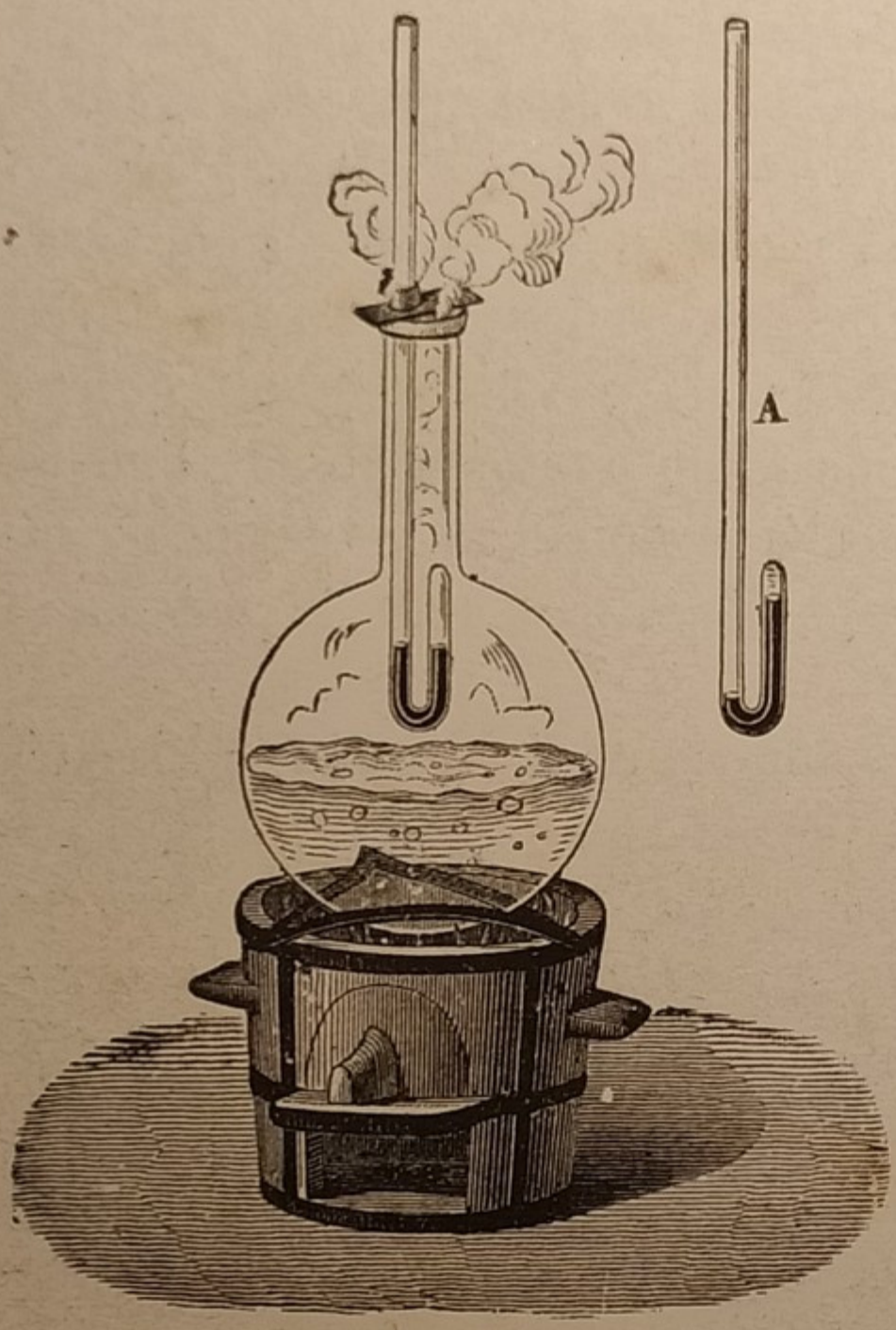


Fig. 40.

2ª *Legge: La temperatura dell'ebollizione di un liquido cresce o diminuisce col crescere o diminuire della pressione.*

Codesta 2ª legge è evidentemente una conseguenza della 1ª perchè, col crescere o diminuire della pressione sovrastante al liquido, cresce o diminuisce la tensione che debbono acquistare le bollicine di vapore che si formano al fondo del recipiente, perchè possano svilupparsi vincendo la pressione che le trattiene, e l'aumento o la diminuzione della tensione del vapore saturo richiede l'aumento o la diminuzione della temperatura.

Così, l'acqua sotto le pressioni 760; $760/_2$; $760/_4$; $760/_{10}$; $760/_{20}$; $760/_{100}$; 4,6 *mm.* bolle rispettivamente alle temperᵉ 100°; 82°; 60°; 46°; 33°; 7°; 0°, perchè quelle sono rispettivamente le tensioni del vapore acqueo saturo alle temperature sotto indicate.

Perciò si può far bollire l'acqua a 0°, riducendo colla pompa pneumatica la pressione a 4,6 *mm.*, come si fa nella esperienza della congelazione dell'acqua.

Si dimostra nelle scuole l'influenza della diminuzione di pressione sulla temperatura di ebollizione col seguente semplice esperimento. In un pallone di vetro, pieno per metà circa di acqua, si fa bollire questa per alcuni minuti, finchè il vapore abbia

trascinato via tutta l'aria. Allora si toglie dal fuoco e si tura rapidamente con un buon tappo. Indi lo si rovescia (fig. 41), se ne immerge la bocca nell'acqua di un recipiente, per impedire meglio l'accesso dell'aria nel pallone, e si lascia raffreddare alquanto l'acqua in esso, finchè l'ebollizione sia completamente cessata. Allora, ogni qual volta si versa acqua fresca sul pallone rovesciato, si vede l'ebollizione ricominciare, perchè il vapore si condensa parzialmente, e così diminuisce la quantità e la pressione del vapore rimanente sulla superficie dell'acqua.

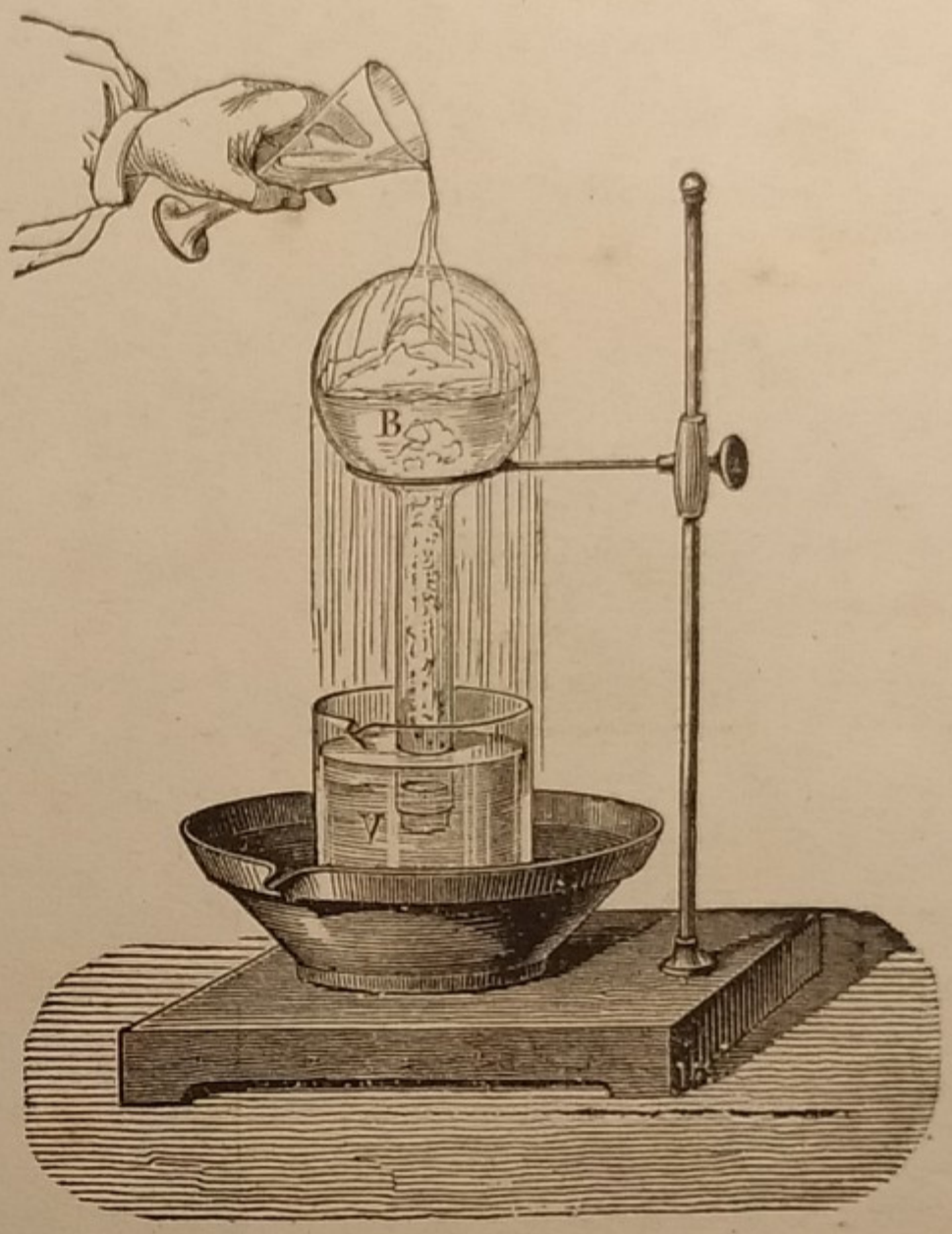


Fig. 41.

Così pure, il calore della mano è sufficente a portare l'alcool in ebollizione nel *bollitore di Franklin*. È questo un tubo di vetro (fig. 42), piegato verso le estremità ad angolo retto, e terminato da due bolle, contenenti alquanto alcool, dalle quali, prima della chiusura, si è fatto uscire l'aria mediante l'ebollizione del liquido. Riscaldando colla mano una delle bolle, il vapore dell'alcool contenuto in essa si dilata, e passa nell'altra, gorgogliando a traverso il liquido contenuto nella medesima, il che costituisce un'ebollizione.

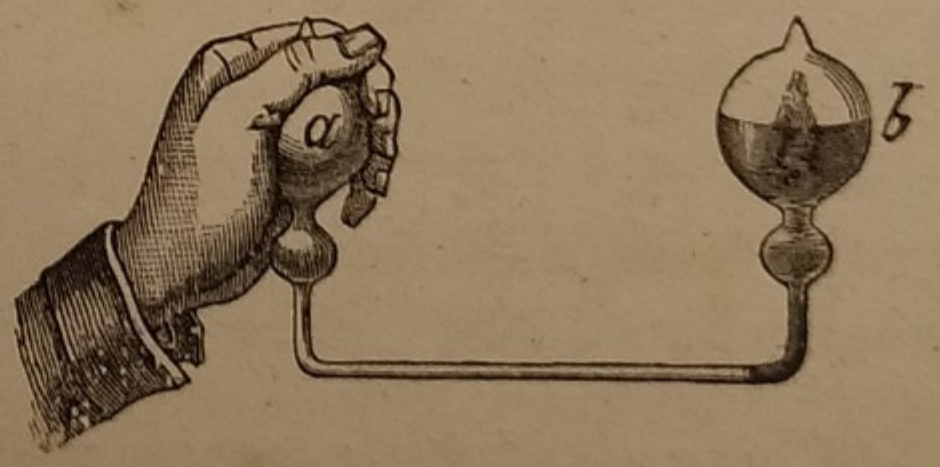


Fig. 42.

Si utilizza la diminuzione della temperatura di ebollizione col diminuire della pressione, nelle fabbriche di zucchero, nelle quali il liquido zuccherino viene concentrato facendo bollire la sua acqua a bassa temperatura, col diminuire la pressione

Così pure, sui monti l'acqua bolle a temperatura tanto più bassa quanto maggiore è la loro altezza, perchè diminuisce la pressione.

Per es., la temperatura di ebollizione dell'acqua è:

Sul Gran San Bernardo (3517 m.) . . . . . 92°
» Monte Bianco (4810 m.) . . . . . 84°
» Chimborazo (*) (6530 m.) . . . . . 77°

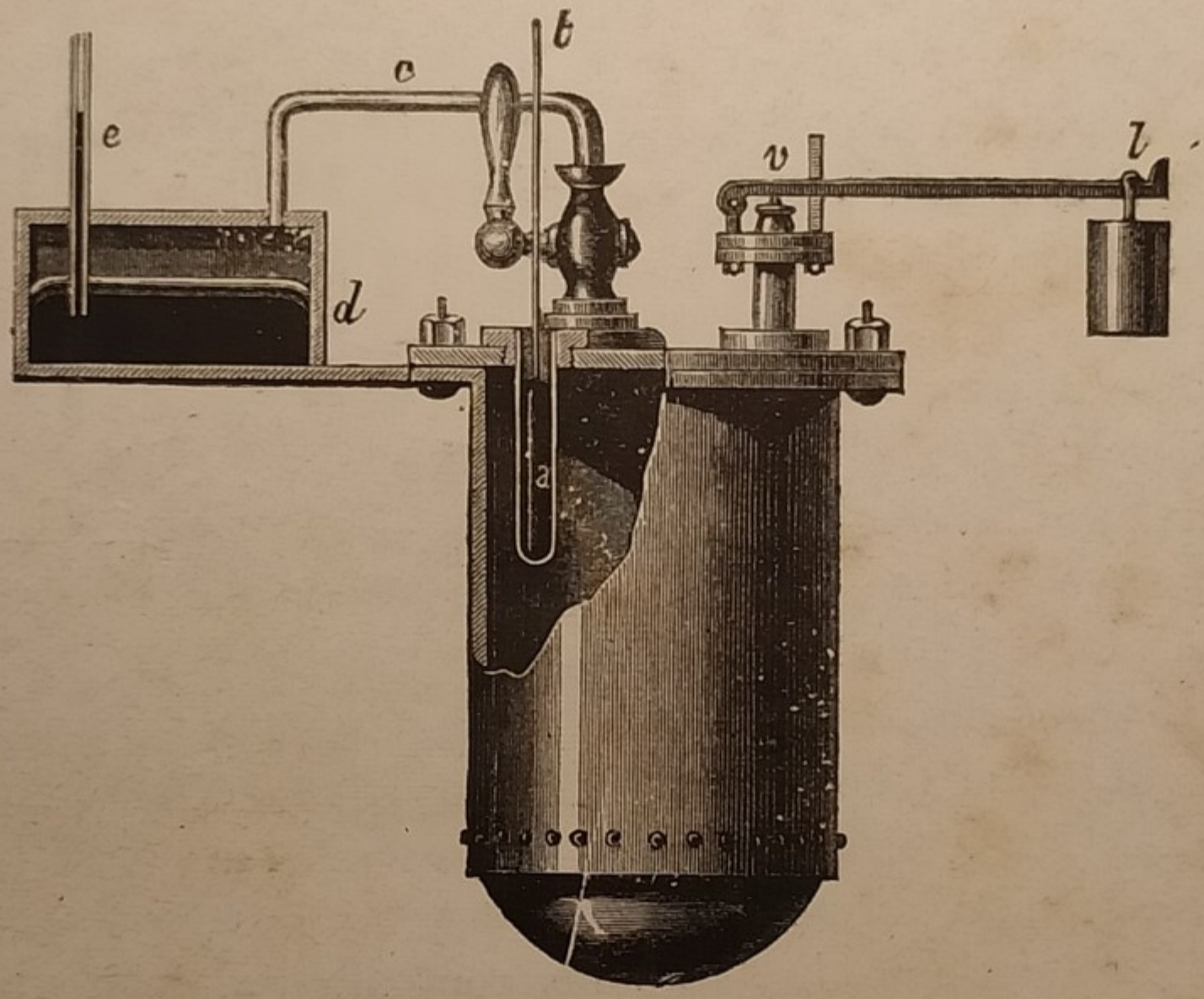


Fig. 43.

Inversamente, nelle caldaie delle macchine a vapore, in cui questo raggiunge le

pressioni di: 1, 2, 3, 4 ... 10 atmosfere,
l'acqua bolle rispettivamente alle
temperature 100°, 121°, 133°, 145° ... 180° circa.

Il che si dimostra anche mediante la *pentola di Papin* (1750) (fig. 43), che è una pentola di metallo a robuste pareti, con coperchio il quale si può saldamente fissare a vite, e provve-

(*) Catena delle Ande, nell'America equatoriale.

duto di una valvola di sicurezza (*v*), ad impedire l'esplosione. In essa l'acqua, come pure altri liquidi, possono venire riscaldati a temperature superiori a quelle della loro ebollizione sotto la pressione atmosferica perchè il vapore, non potendo uscire dal vaso ermeticamente chiuso, si accumula sopra il liquido, e aumenta di pressione, finchè ha la forza di spostare la valvola e uscire dal recipiente.

Regolando la pressione che trattiene la valvola si può fare variare la temperatura di ebollizione del liquido, la quale può essere indicata da un termometro (*t*) immerso nel mercurio contenuto in tubo (*a*) di metallo che attraversa il coperchio della pentola. Infine, mediante un altro tubo (*c*), si può mettere il vapore in comunicazione con un manometro (*e*) che ne misura la pressione.

Con tali pentole si possono cuocere le carni e i legumi, più rapidamente che con quelle ordinarie, perchè la temperatura vi è maggiore; esse servono pure per utilizzare il potere dissolvente dell'acqua sovrariscaldata per sciogliere certe sostanze contenute nelle ossa, ecc

Quindi l'acqua bollente all'aria libera non ha la stessa temperatura nei diversi luoghi della superficie terrestre, e non è dappertutto atta a cuocere bene le vivande; per es. a Quito, l'acqua bolle già a 90°, e perciò non serve a cuocere le vivande che richieggono una temperatura di 100°. Ma mediante pentole chiuse, e munite di valvole di sicurezza, si può portare l'acqua alla temperatura conveniente.

3ª *Legge: Durante l'ebollizione la temperatura del liquido e del suo vapore rimane stazionaria, quantunque quello continui a ricevere calore dall'esterno.*

Questa legge è dimostrata dall'esperienza della determinazione del punto fisso più elevato delle diverse scale termometriche, perchè il mercurio rimane stazionario, sia che il termometro sia immerso nel vapore, sia che sia immerso nell'acqua. Lo stesso avviene con altri liquidi.

Perciò la temperatura di ebollizione sotto una data pressione è indicata dalla stazionarietà del termometro.

Ed un liquido non può essere riscaldato oltre la temperatura

alla quale avviene la sua ebollizione. Ma ritardando questa, coll'aumentare la pressione, lo si può riscaldare a temperature assai più elevate di quella a cui esso bolle sotto la pressione atmosferica ordinaria.

Un vivo fuoco è poi inutile, quando si deve solo conservare un liquido bollente, e serve soltanto a produrre una più celere vaporizzazione. Questa osservazione permette di fare economia di gas nelle cucine a gas luce.

4. Temperatura di ebollizione. — Per la piccola pressione della colonna liquida, la temperatura al fondo di questa è alquanto maggiore che alla superficie; ma le bolle di vapore, a misura che si sollevano, si espandono, e prendono la temperatura alla quale la loro tensione fa equilibrio alla sola pressione sovrastante alla superficie; perciò la temperatura del vapore è sempre perfettamente quella alla quale la sua tensione fa equilibrio alla detta pressione.

Quindi, per determinare la *temperatura di ebollizione* di un liquido sotto una data pressione, non si immerge il termometro nel liquido, ma bensì nel suo vapore; il quale però deve essere protetto dal raffreddamento esterno, siccome appunto avviene nell'apparecchio col quale si determina il punto fisso superiore nella scala del termometro.

5. Temperatura normale di ebollizione. — Siccome poi la temperatura di ebollizione di un liquido è assai variabile dipendentemente dalla pressione, si chiama *temperatura* o *punto di ebollizione normale* di un liquido quella a cui la tensione del suo vapore saturo eguaglia 760 *mm.* di mercurio, ovvero quella del suo vapore quando l'ebollizione avviene sotto la pressione atmosferica normale, supposto che nel medesimo si trovino le bollicine d'aria necessarie perchè avvenga l'ebollizione ordinaria.

Per determinarla si può usare l'apparecchio stesso che serve per determinare il punto fisso superiore della scala dei termometri, ovvero, *quando si dispone solo di una piccola quantità di liquido*, si può fare bollire questo in una campanella di vetro chiusa, con un tappo a due fori, uno dei quali è attraversato da un termometro, il cui bulbo è sospeso nel vapore che si solleva dal liquido, mentre l'altro è attraversato da un tubo aperto ai due capi, mediante il quale il vapore si svolge nell'aria libera.

Nella seguente tabella sono notate le temperature di ebollizione di parecchi liquidi sotto la pressione atmosferica normale.

Punti di ebollizione.

Liquidi	Punti d'ebollizione	Osservatori	
Azoto	— 193°	Wroblenski	Alla pressione di 74 *cm.* di mercurio
Ossido di carbonio (CO)	— 190	id.	
Ossigeno	— 181,5	id.	
Metane (CH_4)	— 158	id.	
Etilene (C_2H_4)	— 103,5	id.	
Protossido d'azoto (N_2O)	— 88	Pictet	Alla pressione di 76 *cm.* di mercurio
Anidride carbonica (CO_2)	— 78,2	id.	
Solfuro idrico (H_2S)	— 61,8	—	
Ammoniaca secca (H_3N)	— 38,5	Regnault	
Cloro	— 33,6	id.	
Cianogeno (C_2N_2)	— 18	—	
Anidride solforosa (SO_2)	— 10,08	Regnault	
Etere etilico ($C_4H_{10}O$)	+ 34,87	id.	
Anidride solforica (SO_3)	46	Scultz Sellack	
Solfuro di carbonio (CS)	46,2	Regnault	
Acetone (C_3H_6O)	56,3	id.	
Bromo	58	Andrews	
Cloroformio ($CHCl_3$)	60,16	Regnault	
Alcool etilico (C_2H_6O)	78,4	Kopp	
Benzina	80,36	Regnault	
Acqua	100	—	
Acido acetico ($C_2H_4O_2$)	117,3	Kopp	
Essenza di trementa (acqua ragia)	159,15	Regnault	
Acido solf. triidrato (H_2SO_4; $3H_2O$)	178,72	Kammerle	
» biidrato (H_2SO_4; $2H_2O$)	228,10	id.	
» monoidrato (H_2SO_4; H_2O)	317,35	id.	
Fosforo	290	Mitscherlich	
Mercurio	357,5	Regnault	
Zolfo	447,5	id.	
Zinco	930	Violle	

6. Influenza delle sostanze sciolte sulla temperatura di ebollizione. — La temperatura di ebollizione di un liquido non è alterata dalle sostanze che sono solo sospese meccanicamente nel medesimo, ma bensì da quelle che sono sciolte o unite chimicamente con esso.

In generale, *le soluzioni dei corpi solidi non volatili bollono a temperature più elevate che il solvente puro, e sviluppano vapore a temperatura più elevata, ma colla stessa tensione di quella del solvente*.

Così, secondo Legrand, una soluzione acquosa

di	8	per 100	di sale di cucina	bolle a	101°
»	40	»	»	»	108°
»	9	»	di sal nitro	»	101°
»	212	»	»	»	120°

7. Misura delle altezze delle montagne mediante l'osservazione della temperatura dell'ebollizione dell'acqua. — Dal principio che un liquido bolle quando il suo vapore è capace di fare equilibrio alla pressione che sopporta risulta che se si ha una tabella nella quale sieno segnate di grado in grado, o meglio di decimo in decimo di grado, le pressioni corrispondenti alle diverse temperature di ebollizione dell'acqua, dall'osservazione della temperatura di ebollizione di questo liquido si potrà dedurre la pressione che esso sopporta, e per conseguenza l'altezza barometrica.

Si usa a tale scopo un termometro detto *ipsometrico*, che dà i decimi di grado da 80 a 100°. Lo si sospende alla sommità di un astuccio formato da parecchi tubi metallici che scorrono l'uno entro l'altro, come quelli di un cannocchiale, e che terminano inferiormente in una piccola caldaia, in cui si fa bollire l'acqua con una lampada ad alcool, mentre superiormente vi è un'apertura per cui esce il vapore.

Però i risultati che così si ottengono sono meno esatti di quelli dati dal barometro.

§ 18. Freddo prodotto dalla vaporizzazione.

1. Calore di vaporizzazione. — Se nella ebollizione di un liquido la sua temperatura rimane stazionaria, quantunque esso riceva calore dall'esterno, si deve concludere che nella vaporizzazione, come nella fusione, viene consumata una certa quantità di calore. Tale consumo di calore avviene non solo quando il liquido si trasforma in vapore a temperatura elevata mediante ebollizione, ma anche mediante evaporazione superficiale.

Questo fenomeno si può anche rendere sensibile versando sulla mano poche goccie di un liquido volatile, come l'alcool, o meglio l'etere; tosto si sente una viva frescura dovuta alla rapida vaporizzazione del liquido.

Quindi, si chiama: *calore di vaporizzazione la quantità di calore necessaria per ridurre* 1 *kg. di un liquido, ad una determinata temperatura, in vapore alla stessa temperatura.*

Dalle esperienze di Regnault risulta, che il calore di vaporizzazione dell'acqua a 100°, cioè sotto la pressione atmosferica, è di 536,5 calorie; ossia: per trasformare 1 *kg.* di acqua a 100°, in 1 *kg.* di vapore a 100°, si debbono consumare 536,5 calorie, ovvero la quantità di calore che sarebbe capace di elevare di 1° la temperatura di 536,5 *kg.* di acqua, ovvero di riscaldare da 0° a 100°, 5,365 *kg.* di acqua.

2. Interpretazione. — *Il consumo di calore nella vaporizzazione dei liquidi si interpreta nella teoria meccanica* osservando che, per ridurre un liquido in vapore si debbono eseguire due lavori, cioè un *lavoro interno* per vincere la coesione, e un *lavoro esterno* per vincere la pressione atmosferica, che si oppone alla notevole espansione che ha luogo nella vaporizzazione del liquido.

Infatti il volume di 1 *gr.* d'acqua a 100°, che alla pressione normale si trasformi in vapore saturo, diviene 1700 volte maggiore che allo stato liquido.

Rappresentando

con Q il calore totale di vaporizzazione
» q_i » del lavoro interno
» q_e » del lavoro esterno

si ha: $$Q = q_i + q_e.$$

Di questi due ultimi lavori, il primo è assai maggiore del secondo. Così il *calore del lavoro esterno*, pel vapore acqueo a 100°, importa solo 40,2 calorie, ed il rimanente, 496,3 calorie, rappresenta il *calore del lavoro interno*, il quale esprime l'eccesso di energia che 1 *kg.* di vapore a 100° possiede rispetto ad 1 *kg.* di acqua alla stessa temperatura.

3. Come si determina il calore di vaporizzazione. — Il *calore di vaporizzazione si determina* con un *apparecchio di distillazione*, o *calorimetro ad acqua*, il quale, in generale, consta di un recipiente pieno d'acqua ad una determinata temperatura, in cui sta immerso un tubo spirale o *serpentino*. Il vapore generato in una caldaia passando pel serpentino si condensa e cede il suo calore all'acqua del calorimetro. Dalla quantità del vapore condensato, il quale si raccoglie al di fuori, e dal riscaldamento dell'acqua si deduce la quantità di calore posseduta dal vapore.

Veramente in questo modo si ottiene il *calore generato nella condensazione del vapore* anzichè quello *consumato nella sua produzione*, ma

l'uno è precisamente eguale all'altro, perchè l'energia termica che sparisce nella vaporizzazione diviene energia potenziale, la quale ripiglia la forma di energia termica nella condensazione.

4. Riscaldamento a vapore. — Pertanto *nella condensazione di un vapore viene restituito il suo calore di vaporizzazione.* Così quando 1 *kg.* di vapore acqueo si condensa alla pressione ordinaria restituisce 536,5 calorie, cioè una quantità di calore capace di riscaldare da 0° a 100° una quantità d'acqua più che 5 volte maggiore. Perciò una data quantità di acqua può venire riscaldata da 0° a 100° mediante la condensazione di una quantità di vapore, il cui peso è minore di $^1/_5$ di quello dell'acqua.

Su questo principio è fondato il *riscaldamento a vapore* degli appartamenti, filande a vapore, ecc.

In quello, il vapore formato in una caldaia sottostante viene condotto in tubi collocati sotto il pavimento, o nei muri, ove esso si condensa, e cede il suo calore di vaporizzazione, convertendosi in acqua, la quale rifluisce nella caldaia, perchè i tubi sono opportunamente inclinati.

Nelle *filande a vapore*, invece di accendere il fuoco sotto ciascuna bacinella dei bozzoli, si fa giungere nell'acqua della medesima un getto di vapore che ivi condensandosi, la porta all'ebollizione. Così pure in molte industrie si riscalda l'acqua nelle vasche mediante getti di vapore.

Per la *cottura a vapore* si impiega un vaso di metallo nella cui parte inferiore si versa acqua; al di sopra di questa sta una lamina metallica bucherellata sulla quale vengono collocate le sostanze da cuocere. Il vapore sollevantesi dall'acqua involgendo quelle, e condensandosi in parte sulle medesime, cede loro il suo calore latente, e le cuoce.

Nelle fabbriche di carta si riscaldano pure i cilindri prosciugatori mediante il vapore.

Per tal modo i vapori somministrano un modo semplice di distribuire il calore; per mezzo di essi si sottrae ad un fornello una certa quantità di calore e la si trasporta ove occorre. Il fenomeno avviene anche in grande scala nell'atmosfera, perchè il vapore acqueo che si solleva dalla superficie dei mari nella zona

torrida trasportato dai venti alizei nelle latitudini elevate, ivi condensandosi cede all'aria il suo calore di vaporizzazione.

5. Freddo prodotto dalla vaporizzazione. — Anche quando un liquido volatile vaporizza a bassa temperatura consuma calore; anzi, il calore di vaporizzazione a bassa temperatura è maggiore che a temperatura elevata; così

il calore di vaporizzazione dell'acqua a	0°	è = 606,5	calorie
»	»	10° » = 596	»
»	»	20° » = 592	»
»	»	100° » = 536,5	»

Ora, *il calore consumato nella vaporizzazione può divenire sorgente di freddo, come il calore consumato nella fusione, quando il vapore riceve tale calore dal suo liquido, il quale perciò si raffredda.* Codesto raffreddamento è tanto più intenso quanto maggiore è il calore di vaporizzazione del liquido e più rapida l'evaporazione; perciò quanto più volatile è il liquido, più ampia la sua superficie evaporante, minore la pressione e maggiore il rinnovamento dell'aria.

L'etere versato sulla mano produce frescura più viva che l'alcool, perchè più volatile, e il movimento della mano aumenta ancora la frescura, perchè accelera l'evaporazione col rinnovamento dell'aria. Lo stesso avviene quando si pone in bocca una pastiglia di menta, e si aspira l'aria per accelerare l'evaporazione.

Un termometro il cui bulbo è avvolto di stoffa bagnata con un liquido volatile, come l'etere, fatto dondolare per accelerare l'evaporazione, indica notevole raffreddamento.

Si soffia sulla minestra calda per accelerarne l'evaporazione e quindi il raffreddamento. Il ventaglio fa sentire maggior frescura quando la pelle è umida di sudore che non quando è asciutta.

Dopo la pioggia si sente frescura per l'evaporazione successiva dell'acqua, la quale cresce se spira il vento. Così pure chi esce dal bagno sente più freddo se spira vento.

La costanza della temperatura del corpo umano dipende dalla evaporazione cutanea, la quale cresce col crescere della temperatura esterna.

Il vestire abiti umidi ha per conseguenza un raffreddore,

perchè il nostro corpo deve somministrare il calore per trasformare l'acqua in vapore.

Il vino viene conservato fresco esponendo ad una corrente d'aria il fiasco coperto con stoffe umide, e nei paesi caldi si conserva l'acqua fresca in vasi porosi, detti *alkarazas*, sulla cui esterna parete evapora l'acqua che trapela, massime se si trova in una corrente aerea.

Nel Tibet, nella China e nell'India orientale, mediante l'evaporazione, si ottiene il ghiaccio nelle notti serene e calme, mentre la temperatura dell'aria è di 10° c. Si scavano perciò nei campi fosse quadrate, profonde 30 *cm.* e di 1 a 2 metri di lato; il fondo delle medesime viene coperto di cattivi conduttori del calore, paglia o canne da zucchero intrecciate, a fine di trattenere il calore del suolo. Si pongono nel fondo di tali fosse vasi ampii e porosi con acqua; questa trapela dalla parete, si evapora, e toglie così calore alla rimanente massa, la quale si raffredda.

Il *crioforo* di Wollaston (1813) consta di due bolle di vetro congiunte mediante un tubo, le quali contengono un poco d'acqua che vi si è fatta bollire, in modo da trascinare via l'aria. Se si fa passare tutta l'acqua nella bolla superiore, e si immerge l'inferiore in un miscuglio frigorifero, per la condensazione del vapor acqueo in questa, e la conseguente evaporazione nell'altra, avviene congelazione superficiale dell'acqua nella medesima.

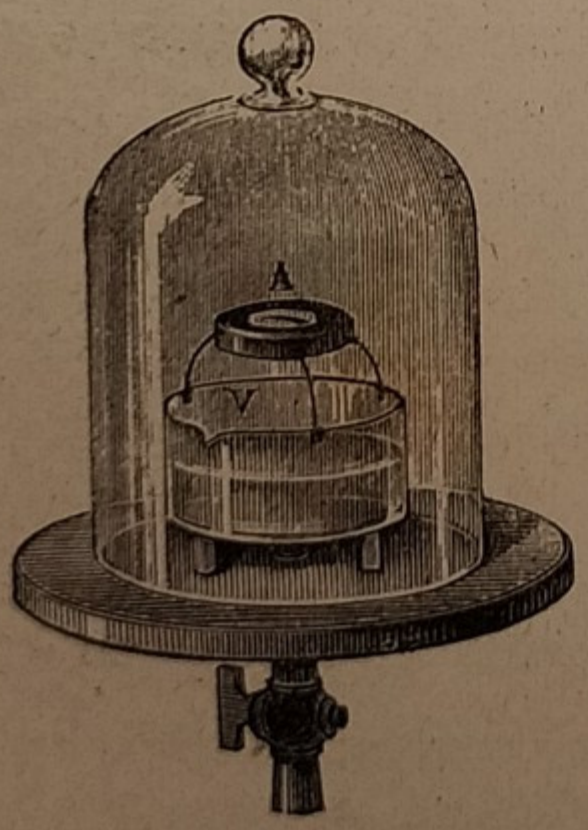


Fig. 44.

Si può fare congelare l'acqua per mezzo del freddo prodotto dalla sua evaporazione, mediante la pompa pneumatica. Si colloca sotto la campana una larga capsulina A (fig. 44) di vetro, o meglio di sughero internamente affumicato, contenente una grossa goccia d'acqua, sopra una capsula di metallo sostenuta da tre gambe che appoggiano sull'orlo di una vaschetta sottostante V di vetro, contenente acido solforico concentrato, destinato ad assorbire il vapore acqueo a misura che si forma, e ad accelerare così l'evaporazione. Indi si fa il vuoto, l'acqua entra in ebollizione, evapora in parte, e quella rimanente si agghiaccia.

La congelazione dell'acqua mediante il freddo prodotto dall'evaporazione si può eseguire più semplicemente col seguente esperimento. Si collocano da 1 a 3 *cm.* di acqua in una campanella di assaggio, e si immerge questa in un poco di etere contenuto in un bicchierino, nel quale liquido si fa pescare un tubo di caucciù comunicante con un soffietto. Mediante questo si fa gorgogliare l'aria nell'etere per favorirne l'evaporazione e in 5minuti si ottiene la congelazione dell'acqua contenuta nella campanella.

Questa esperienza si fa oggidì più in grande colla *macchina di Carré*, che è una pompa aspirante la quale aspira l'aria da un recipiente contenente una considerevole quantità di acido solforico concentrato, e da una caraffa contenente un poco d'acqua (uno strato di 3, o 4 *cm.*) comunicante con detto recipiente. Per la diminuita pressione l'acqua entra presto in ebollizione, i suoi vapori vengono assorbiti dall'acido solforico opportunamente agitato da un agitatore messo in moto dalla leva della pompa stessa, e così l'evaporazione continua, cosicchè in 10 minuti circa l'acqua si congela.

La caraffa può essere composta di due pezzi uniti ermeticamente con cera gialla, i quali poi si distaccano, con una spatola metallica, cosicchè si può estrarre il ghiaccio ottenuto.

Se il tappo della bottiglia è attraversato da un imbuto metallico in cui si versa acqua, e munito di chiavetta, aprendo questa lentamente in modo da lasciare gocciolare il liquido, le goccie cadenti si congelano in modo da costituire un *monte di ghiaccio*.

Le macchine per fabbricare il ghiaccio in grande nei paesi caldi, come quella di Harrison (1856), di Carré (1866), ecc. sono tutte fondate sul freddo prodotto dalla vaporizzazione di un liquido, o dalla dilatazione dell'aria compressa.

Per es. á Torino si fabbrica il ghiaccio mediante l'ammoniaca liquida. In parecchie grandi vasche contenenti acqua salata si immergono cassette prismatiche di zinco piene di acqua potabile. L'acqua salata, che non si congela a 0° sia per il sale che contiene sia perchè continuamente agitata, viene raffreddata a — 6° circa, mediante l'evaporazione dell'ammoniaca liquida che circola in un sistema di tubi serpentini immersi nella medesima. Così l'acqua potabile delle cassette di zinco si riduce in prismi di ghiaccio.

L'evaporazione dell'ammoniaca liquida nei serpentini, e la successiva liquefazione del vapore di ammoniaca, vengono determinati da potenti pompe aspiranti e prementi.

§ 19. Condensazione dei vapori e dei gas.

1. Condensazione dei vapori. — Si è già detto che si chiamano *vapori:* i corpi aeriformi che nascono dal riscaldamento dei liquidi, mentre si denominano *gas* i corpi che hanno lo stato aeriforme nelle condizioni ordinarie di temperatura e pressione, siccome l'ossigeno e l'azoto che si trovano nell'aria.

Inoltre sappiamo che i vapori si distinguono in *saturi* e *non saturi*, e che se si abbassa la temperatura di un vapore saturo una parte del medesimo si liquefa perchè la quantità del vapore necessaria per saturare un dato spazio diminuisce col diminuire della temperatura.

E se in un vapore saturo, o prossimo alla saturazione, si fa arrivare nuovo vapore dello stesso liquido, quello che eccede la quantità necessaria per la saturazione si condensa in minute goccioline. Così, nell'inverno quando il vapor acqueo dell'aria è saturo, o prossimo allo stato di saturazione, quello che noi espiriamo si condensa in minute goccioline, e forma la nebbia che appare dinanzi alla nostra bocca. Così pure si forma la nebbia su di una pentola in ebollizione, e si appannano i vetri delle finestre per la condensazione del vapore acqueo delle camere sui medesimi. E così ancora si formano nell'atmosfera le nebbie e le nubi, come insegna la Meteorologia.

Anche i vapori non saturi, per diminuzione della temperatura o del volume, si liquefanno perchè colla diminuzione del volume aumentano di densità finchè raggiungono quella del vapore saturo, oltrepassando la quale avviene liquefazione, e per abbassamento della temperatura viene raggiunta quella a cui il vapore esistente è sufficiente a saturare lo spazio che lo contiene, la quale temperatura, nel caso del vapore acqueo, si dice il *punto di rugiada*.

La *condensazione dei vapori per raffreddamento* avviene pure nel riscaldamento a vapore, di cui si è già parlato, e nell'operazione della *distillazione,* la quale consiste nel ridurre un liquido in vapore, e nel condensare nuovamente questo mediante raffreddamento, per separarlo dalle materie eterogenee con cui il liquido era mescolato.

2. Liquefazione dei gas. — I gas essendo corpi aeriformi come i vapori, era naturale il pensare che essi pure dovessero mediante compressione e raffreddamento, ridursi allo stato di saturazione, e quindi venire liquefatti. La compressione dei gas si effettua mediante pompe di compressione e il raffreddamento si ottiene mediante la dilatazione di gas compressi, o l'evaporazione di gas già liquefatti.

3. Temperatura critica. — Mediante pressione e raffreddamento si erano da Faraday (1823-1845) e Nattarer liquefatti tutti i gas, eccettuati sei, cioè

l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto, l'ossido di carbonio (C O), l'idrogeno protocarbonato o gas delle paludi (H_4 C), e l'ossido azotico (N O), i quali avevano subìto perfino la pressione di 3000 atmosfere senza passare allo stato liquido, e si dicevano perciò *permanenti* od *incoercibili*. Quando Andrews (1860-70), con adatte esperienze, dimostrò che: *per ciascun gas vi è una temperatura al di sopra della quale torna impossibile ridurlo in un liquido ordinario, per quanto grande sia la pressione cui viene sottoposto.* Egli denominò quella la *temperatura critica* o il *punto critico*. E la pressione necessaria per la condensazione alla temperatura critica si dice *pressione critica*. Così la temperatura critica dell'anidride carbonica è + 31° circa, e la pressione critica è 73 atmosfere, cioè l'anidride carbonica a 31° diviene liquida mediante una pressione di 73 atmosfere.

Si rende sensibile il fatto della temperatura critica per l'anidride carbonica mediante un robusto tubo di vetro contenente detto gas allo stato liquido e chiuso alla lampada. Alla temperatura ordinaria si vede nettamente il liquido col menisco sovrastante; ma riscaldando il tubo fino a 32°, il liquido cessa di essere visibile e col successivo raffreddamento del tubo si vede riapparire il liquido nella parte più fredda.

Al disopra della temperatura critica torna impossibile la condensazione del gas; invece al disotto della medesima la pressione necessaria per la condensazione è tanto minore della pressione critica quanto minore è la temperatura. Così l'anidride carbonica a + 32° non si lascia liquefare per le più elevate pressioni; invece essa si liquefa

a + 31°	sotto una	pressione di	73	atmosfere,
a + 13°	»	»	49	»
a 9°	»	»	35	»
a — 79°	»	»	1	»

Pertanto l'anidride carbonica a — 79° è liquida anche alla pressione ordinaria, ma evapora per minimo riscaldamento, e pel calore consumato dall'evaporazione si solidifica.

Similmente avviene per gli altri gas.

I gas una volta detti *permanenti* hanno temperature critiche assai basse, che solo nel 1877 vennero raggiunte.

In detto anno, Cailletet, in Francia, trovò che l'ossido azotico (N O), il quale a + 8° era ancora gazoso alla pressione di 208 atmosfere, si liquefaceva a — 11° colla pressione di sole 104 atm. Egli osservò ancora che lasciando espandere il gas a + 8°, il freddo prodotto dall'espansione lo trasformava in nebbia, cioè in goccioline liquide, e con adatti miscugli frigoriferi potè far vedere la nebbia di tutti i gas ritenuti permanenti. Ma Pictet in Ginevra, quasi comtemporaneamente, e con apparecchi più perfetti e potenti ottenne getti liquidi di ossigeno, aria, idrogeno, mescolati con nuclei solidi, sebbene non ancora in forma di masse liquide e solide come per l'anidride carbonica, e l'ossido azotoso.

§ 20. La macchina a vapore.

1. Generalità. — Le macchine a vapore servono a trasformare il calore in lavoro meccanico mediante il vapore acqueo.

Tale trasformazione è fondata sul fatto che, *la tensione del detto vapore, alle temperature superiori a* 100°, *è maggiore della pressione atmosferica.*

Le prime macchine a vapore furono quelle di Savery e Newcomen, costrutte in Inghilterra nel 1788, il cui impiego era limitato all'estrazione dell'acqua dalle gallerie delle miniere. Fu Watt che con successivi miglioramenti le rese più pratiche e industriali, per modo da generalizzarne l'uso, il quale inaugurò una nuova êra nelle industrie e nella scienza.

Ogni macchina a vapore consta di due parti principali:

1° *Il generatore del vapore o caldaia;*

2° *Il generatore del lavoro*, o la macchina propriamente detta.

Di esse la più importante è la seconda, perciò faremo precedere lo studio della medesima.

2. Generatore del lavoro. — Questo consiste principalmente in un cilindro cavo di ghisa *A*, figg. 45 e 46, le quali rappresentano una *macchina fissa verticale;* la prima la presenta di fronte al volante X, e la seconda di fianco, col cilindro sezionato per mostrarne l'interno, chiuso alle due estremità, nel quale è scorrevole un disco metallico circolare, o *stantuffo* (C, fig. 46), munito di un gambo attraversante una delle basi del cilindro, e la cui estremità è articolata ad una stanga (P) detta *biella*, la quale alla sua volta è articolata ad una *manovella* (Q) fissa ad un cilindro orizzontale detto *albero*, cui è applicato il volante (X) e una o più pulegge (non segnate nella figura), le quali mediante cinghie comunicano il movimento ad altre pulegge.

Il vapore della caldaia arriva per un tubo (Z, fig. 46) in una cavità (K) laterale al cilindro, detta *camera di distribuzione*, dalla quale partono due canali che vanno alle due estremità (*e d*) di quello, i quali vengono alternativamente aperti e chiusi da una valvola che riceve il movimento dalla macchina stessa. Così

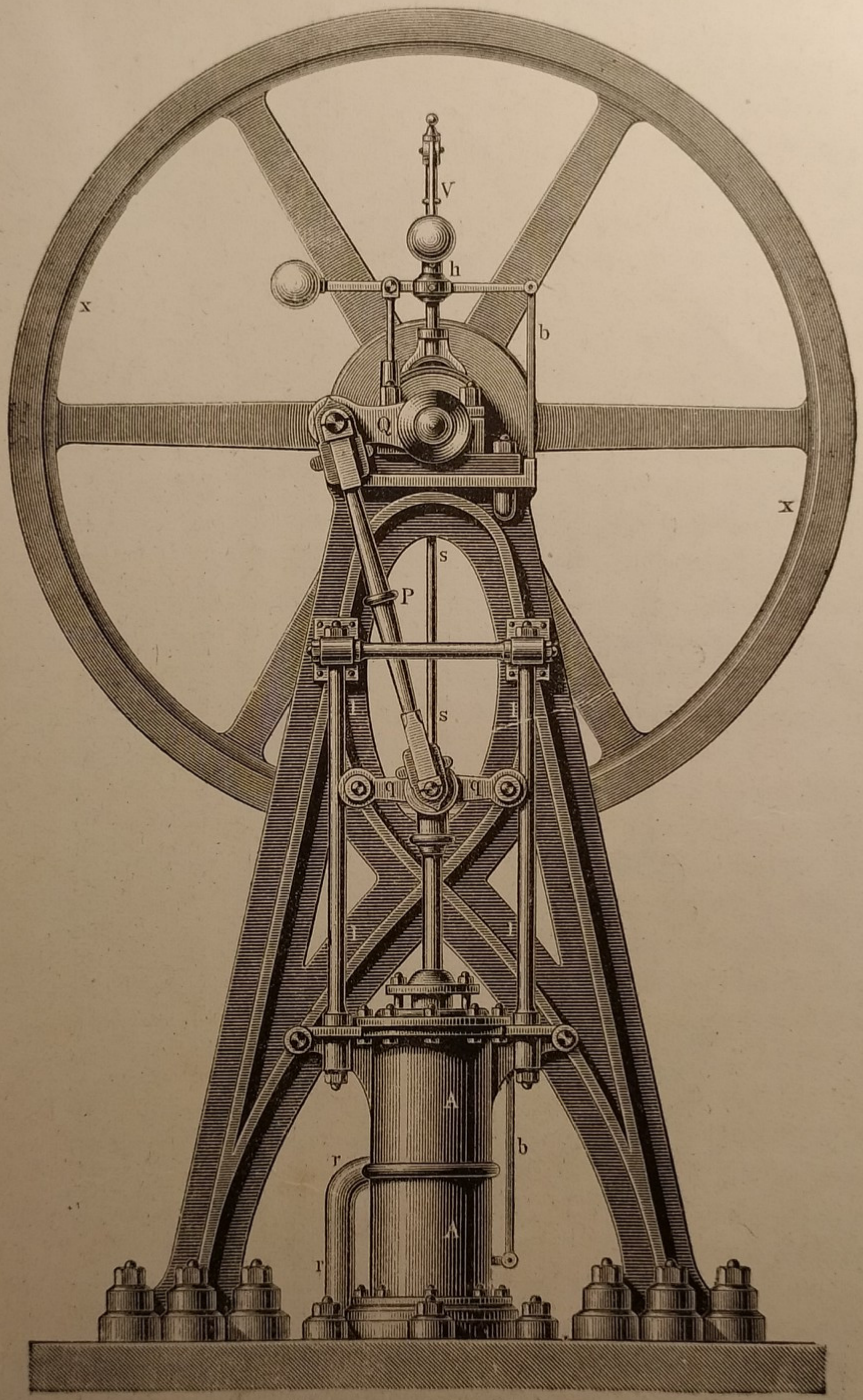


Fig. 45.

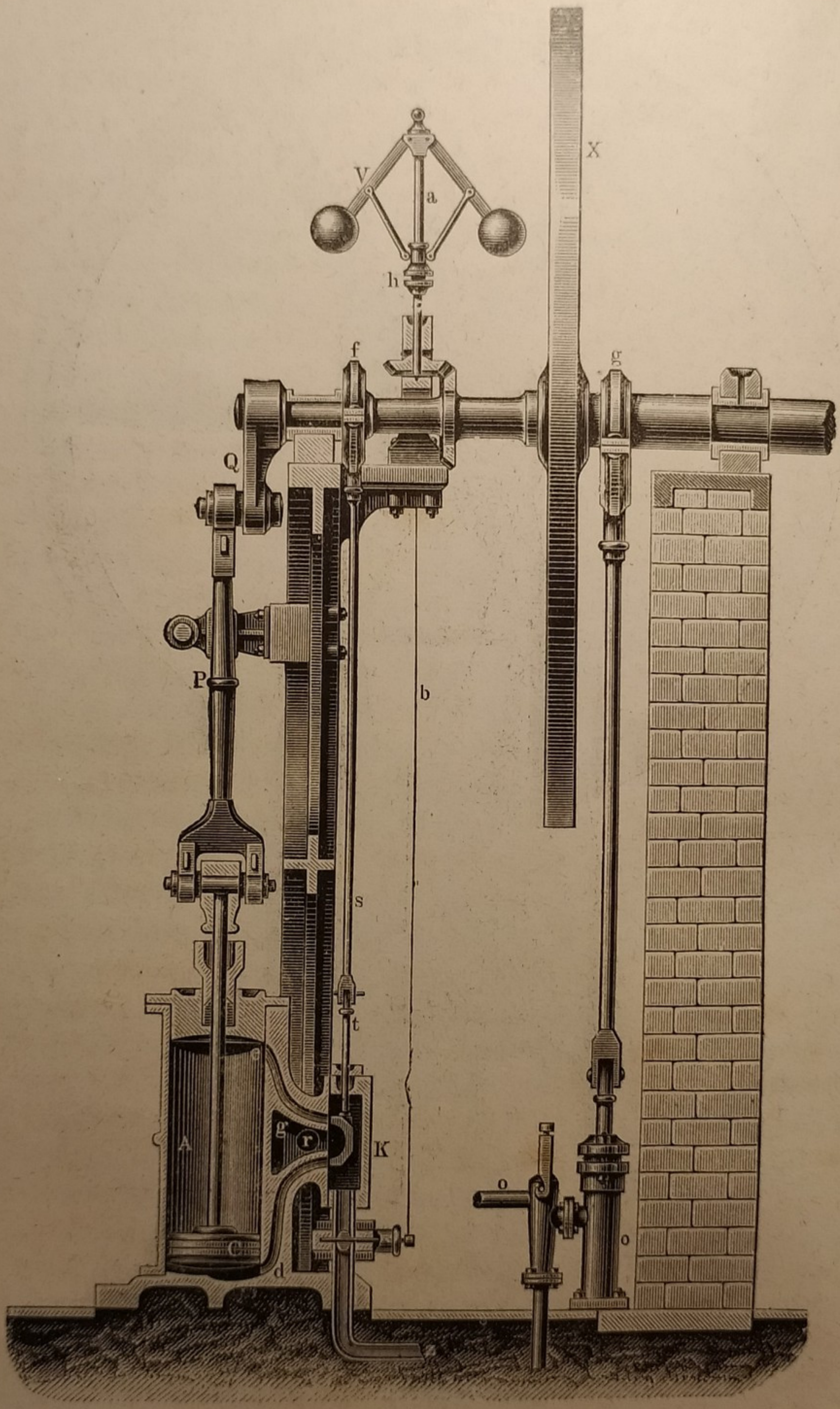


Fig. 46.

il vapore giunge alternativamente alle due estremità del cilindro, e spinge verso quelle lo stantuffo, il quale, mediante il suo gambo, la biella e la manovella, determina un moto rotatorio dell'albero, e quindi delle puleggie fisse al medesimo.

Nelle *locomotive* sull'albero sono applicate le ruote motrici, le quali, mediante l'attrito colle rotaie, determinano il moto progressivo della macchina colle vetture ad essa attaccate; nelle *macchine fisse* delle officine il moto rotatorio delle puleggie fisse all'albero viene, mediante cinghie, comunicato all'albero di trasmissione dell'officina, cui sono infisse altre puleggie che comunicano il movimento alle diverse macchine.

Nella camera di distribuzione (K, fig. 46) trovasi una valvola detta *di distribuzione*, od anche *valvola a cassetto* per la sua forma cava (fig. 47), o *valvola scorrevole*, perchè viene continuamente fatta scorrere su e giù mediante il gambo (*t*, fig. 46), articolato ad un'asta (*s*) congiunta ad un ordegno (*f*) detto *eccentrico*. Questo è costituito da un disco circolare fisso all'albero (nelle fig. 48, 49, 50, esso è rappresentato dal cerchio maggiore più oscuro distinto con lineette verticali, mentre l'albero è rappresentato dal cerchietto minore e più chiaro segnato con lineette inclinate) per modo che il suo centro non coincide coll'asse di questo, ma ne dista della metà dello spostamento che deve subire la valvola di distribuzione.

Così, ad ogni giro dell'albero, il centro del disco descrive una circonferenza, il cui diametro è uguale allo spostamento intero che deve subire quella valvola. Per produrre tale spostamento il disco è ancora cerchiato da un collare (rappresentato dal cerchio chiaro che circonda l'eccentrico) entro il quale esso può girare a dolce sfregamento, e a cui è unita l'asta (*s*) articolata inferiormente al gambo (*t*) della valvola.

Per tal modo questa viene sollevata quando il centro dell'eccentrico compie il semi-giro ascendente per raggiungere la posizione più elevata (fig. 48), e così viene aperto il canale inferiore del vapore, in guisa che questo può passare dalla camera di distribuzione nel cilindro, sotto lo stantuffo, per spingerlo in alto (fig. 51), mentre contemporaneamente il vapore che si trova dalla parte opposta dello stantuffo può venire nella cavità della valvola (come indica la freccia ricurva), e quindi in un'altra (*a*),

donde parte un tubo che lo conduce al di fuori, nell'aria o nel condensatore.

Inversamente, quando il centro del disco compie il semi-giro discendente per raggiungere la posizione più bassa (fig. 50), la valvola discende e lascia aperto il canale superiore del vapore, affinchè questo possa spingere in basso lo stantuffo (fig. 52), mentre contemporaneamente il vapore che si trova dalla parte opposta di quello può venire nella cavità della valvola (come indica la freccia ricurva) e quindi nell'altra (*a*) d'onde parte il tubo che lo conduce fuori.

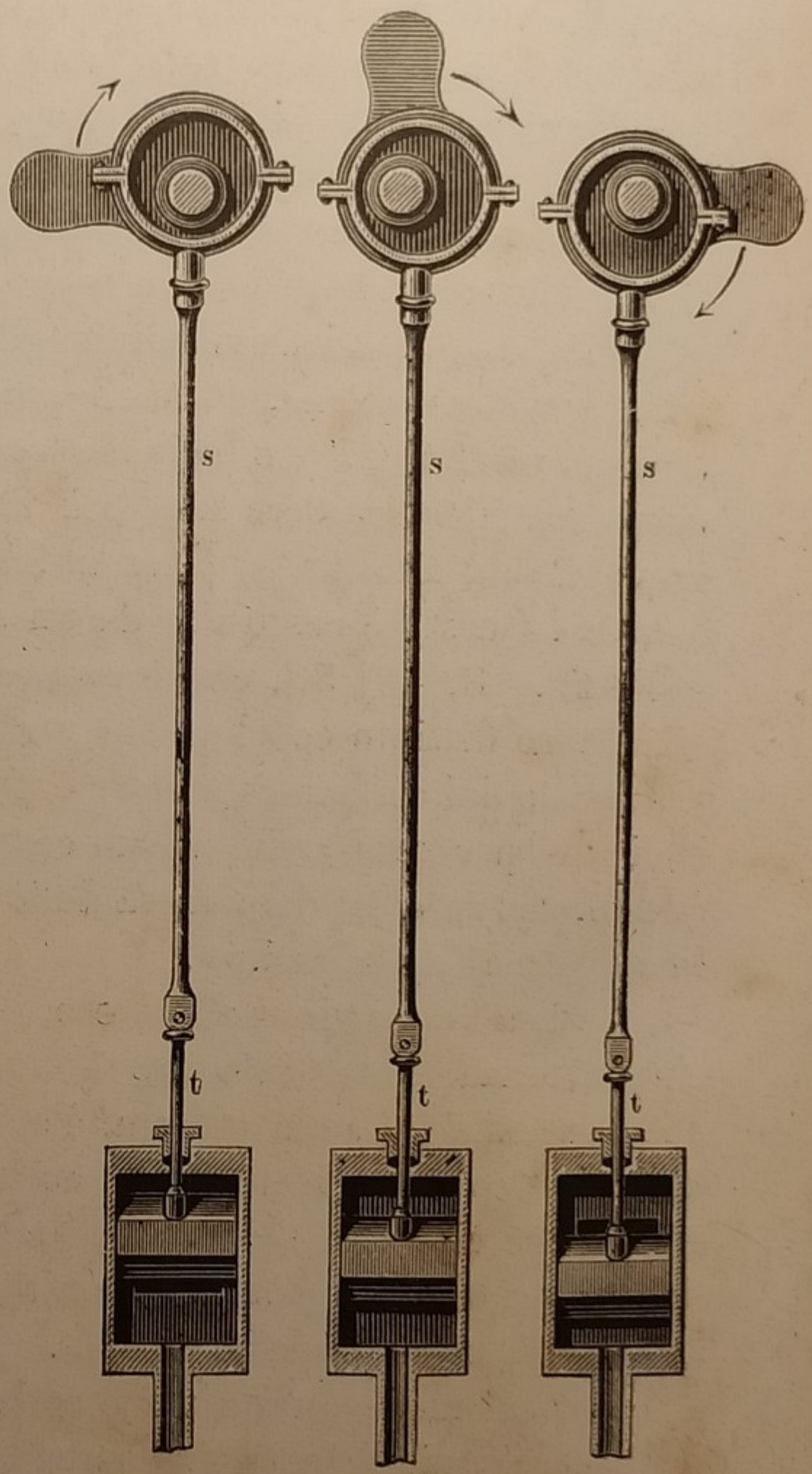


Fig. 48. Fig. 49. Fig. 50.

Infine la valvola assume una posizione mediana (figura 49) quando il centro del disco trovasi lateralmente all'asse dell'albero, da una parte o dall'altra del medesimo. Allora essa chiude entrambi i canali del vapore (come indica la detta figura), il che avviene appunto quando lo stantuffo si trova all'una o all'altra estremità del cilindro, e sta momentaneamente in riposo per invertire la direzione del suo moto.

Fig. 47.

Così, per gli spostamenti opposti della valvola, questa apre e chiude alternativamente e a tempo opportuno i due canali pei quali il vapore arriva alternativamente sulle due faccie dello stantuffo, e lo spinge dall'una all'altra estremità del cilindro.

3. Macchine a bassa, media e alta pressione. — Le macchine a vapore si dicono a *bassa*, *media* od *alta pressione*, secondochè la pressione del vapore nella caldaia è compresa fra 1 e 2 atmosfere, ovvero fra 2 e 4, ovvero è superiore alle 4 atmosfere.

4. Macchine a condensazione e senza condensazione. — Di più le macchine a vapore si dicono *a condensazione*, o *senza condensazione*, secondochè il vapore che ha agito su una faccia dello stantuffo viene condensato o no. La condensazione si ottiene, ordinariamente, conducendo il vapore dal cilindro in un recipiente chiuso, detto *condensatore*, ove quello viene raffreddato mediante

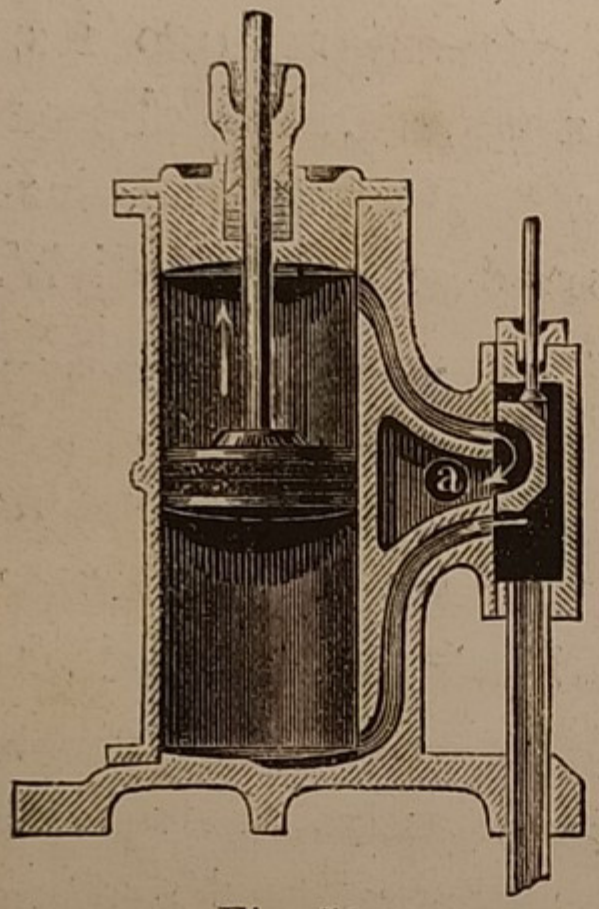


Fig. 51

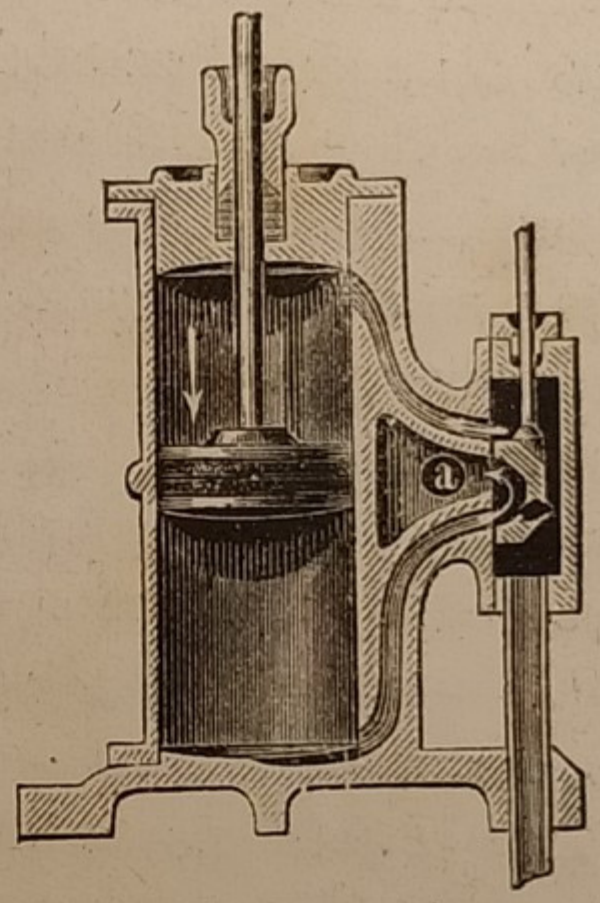


Fig. 52.

acqua fresca. Quando non ha luogo la condensazione, il vapore dal cilindro effluisce nell'aria libera.

La condensazione è fondata sul principio della parete fredda (paragr. 14), ed ha per scopo di diminuire la pressione del vapore che ha agito su una faccia dello stantuffo, affinchè sia più efficace la pressione del nuovo vapore che arriva sull'altra faccia.

5. Punti morti e volante. — Se anche la pressione del vapore sullo stantuffo rimanesse invariabile, la sua azione per produrre la rotazione della manovella risulterebbe varia, perchè il suo braccio di leva è massimo quando la manovella è perpendicolare all'asse del cilindro (fig. 45), e nullo quando è parallela (fig. 46). In questo caso, se la macchina fosse in riposo, la pressione del vapore sullo stantuffo non potrebbe che produrre una pressione sull'albero, ma non la rotazione. Codeste posizioni estreme

della manovella, nelle quali essa è parallela all'asse del cilindro, e in cui il vapore non può produrre la rotazione della medesima, si dicono *punti morti*, e vengono superate, sia dall'inerzia delle diverse parti della macchina le quali perseverano nel movimento ricevuto, sia sovratutto dall'inerzia del *volante* o *volano*, che è una grande ruota di ghisa (X, fig. 45 e 46), fissa all'albero, la quale, girando assieme con questo, non solo serve a superare i punti morti, ma anche a rendere tanto più regolare il movimento della macchina quanto maggiore è la sua massa e il suo diametro.

6. Regolatore a forza centrifuga di Watt. — Le irregolarità maggiori nel movimento della macchina che provengono, sia dalla variabile grandezza del lavoro che eseguiscono i congegni che ricevono il moto dalla macchina a vapore, sia dalle variazioni della pressione del vapore nella caldaia, vengono ordinariamente superate mediante il *regolatore a forza centrifuga* di Watt, che regola una valvola contenuta nel tubo (Z, fig. 46) di afflusso del vapore dalla caldaia nel cilindro.

Esso consiste in un parallelogramma i cui lati sono articolati fra loro, e superiormente ad un'asta (a), inferiormente ad un anello (h) scorrevole lungo quella. Di più i lati superiori del medesimo portano alle loro estremità inferiori due sfere metalliche.

L'asta (a) che porta il parallelogramma riceve il moto di rotazione dall'albero stesso, mediante una ruota dentata orizzontale che si trova alla sua estremità inferiore, la quale ingrana nei denti di un'altra ruota dentata verticale infissa nell'albero.

Se il moto è troppo celere la forza centrifuga delle sfere solleva l'anello (h) cui è congiunta una verga (b) la quale dispone una valvola collocata nel tubo (Z) di afflusso del vapore nella camera di distribuzione, in modo da diminuire l'accesso a quella, e così diminuisce la pressione sullo stantuffo, e quindi la velocità della macchina.

Inversamente, se la rotazione dell'albero è troppo lenta, per la diminuzione della forza centrifuga le sfere scendono, e quindi anche l'anello, il quale, mediante la verga, dispone la valvola del tubo di afflusso del vapore per modo da lasciare più libero il passagio a questo, e così la velocità si accresce.

Oggidì, nelle macchine più perfette, il regolatore a forza centrifuga invece di agire sulla valvola d'introduzione del vapore nella camera di distribuzione, agisce sulla valvola stessa di

distribuzione, in modo da regolare l'introduzione del vapore a seconda del lavoro che la macchina deve sviluppare.

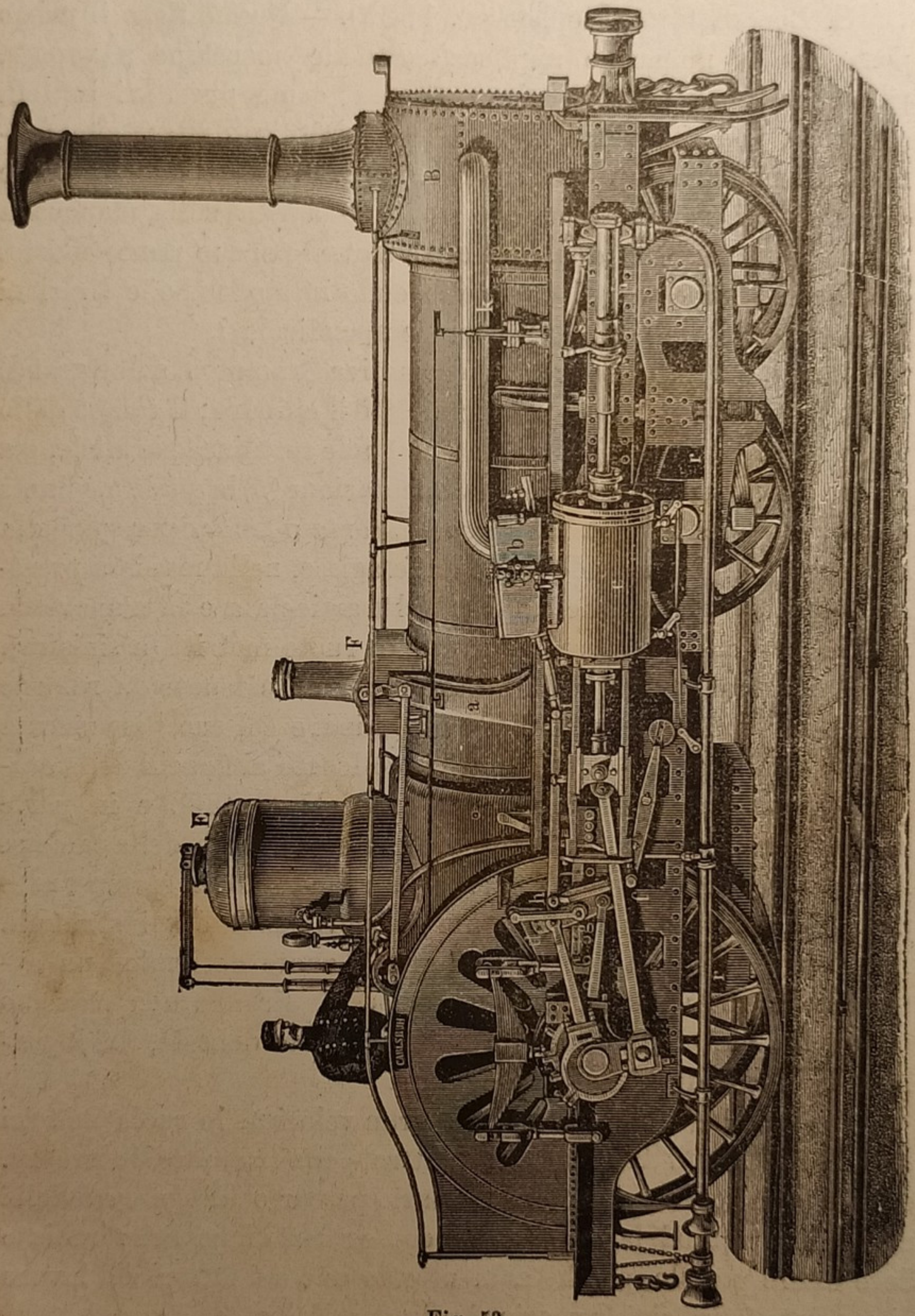


Fig. 53.

7. Pompa alimentare. — Infine, l'acqua nella caldaia viene somministrata da una pompa aspirante e premente (*o o* fig. 46),

distribuzione, in modo da regolare l'introduzione del vapore a seconda del lavoro che la macchina deve sviluppare.

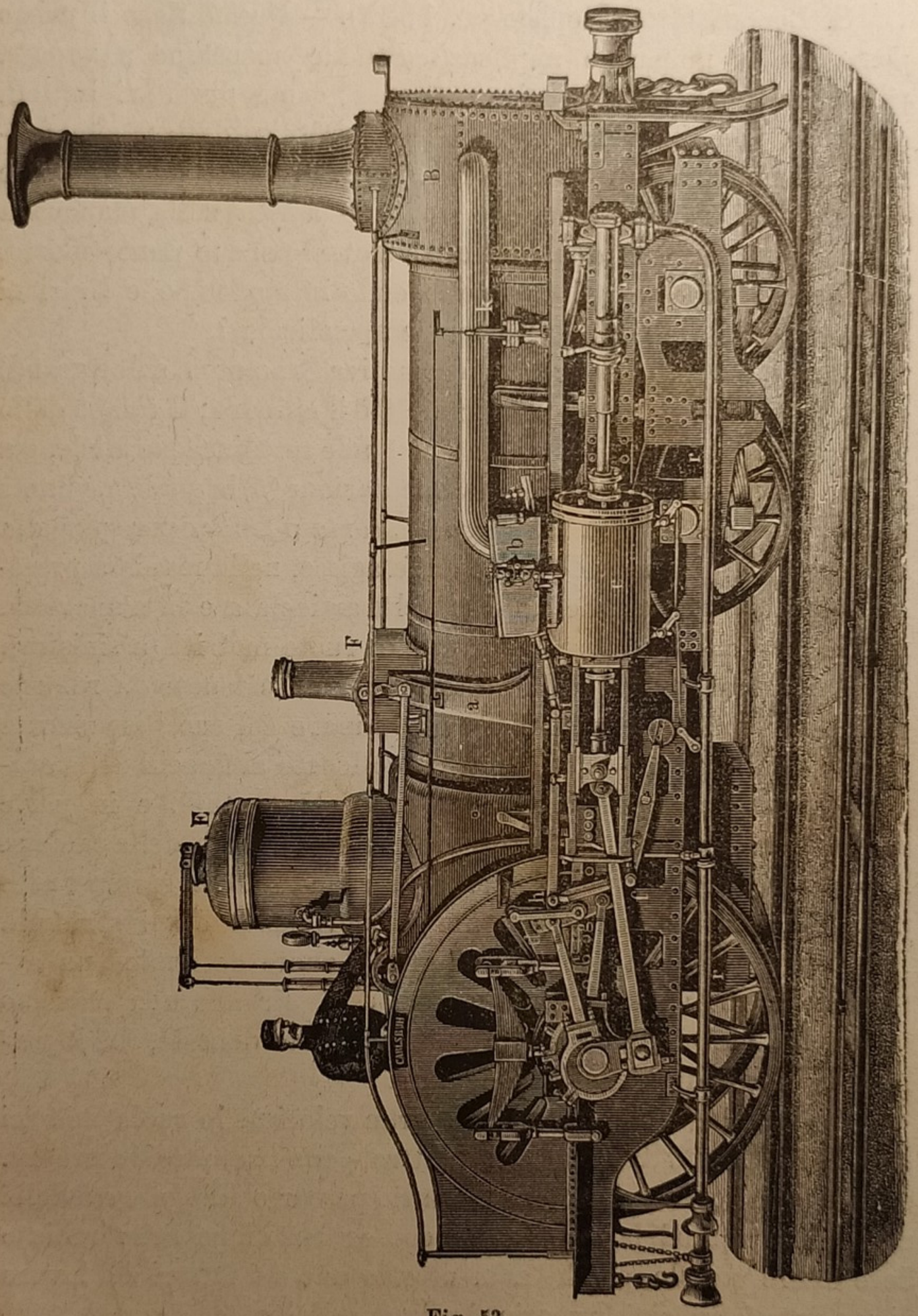


Fig. 53.

7. Pompa alimentare. — Infine, l'acqua nella caldaia viene somministrata da una pompa aspirante e premente (*o o* fig. 46),

il cui stantuffo è messo in moto dall'albero, mediante un eccentrico (*g*).

8. Locomotiva (Stephenson, 1829). — Questa tiene il primo posto tra le numerose applicazioni delle macchine a vapore, perciò merita speciale menzione. In essa, come pure nei battelli a vapore, non vi è volante, il quale è sostituito dalle ruote motrici. Di più, per superare i punti morti, si usano due cilindri e due stantuffi, in guisa che uno stantuffo agisca sulla manovella col massimo braccio, quando l'altro trovasi nel suo punto morto, ciò che si ottiene semplicemente facendo in modo che le direzioni delle due manovelle siano fra loro perpendicolari.

La fig. 53 rappresenta una locomotiva Crampton, a due grandi ruote motrici, per le grandi velocità; C è il cilindro; il gambo dello stantuffo si muove a sinistra fra due guide rettilinee parallele, e a destra pone in azione la pompa d'alimentazione (*p*) la quale mediante tubi (*r r*) aspira l'acqua dal *carro di scorta* o *tender* per spingerla nella caldaia. Il gambo dello stantuffo agisce, nella maniera precedentemente descritta, mediante la biella articolata e la manovella, sull'albero cui sono fisse le due grandi ruote motrici (a sinistra).

Un robusto telaio rettangolare di ferro, sostenuto da robuste molle, porta tutte le parti della macchina, e col suo peso gravita in parte sulle grandi ruote motrici, collocate ai fianchi della caldaia, le quali ricevono il movimento dagli stantuffi, e in parte su altre ruote minori, collocate alquanto al disotto della caldaia. le quali si dicono *portanti*, perchè servono solo a sostenerne il peso, e non ricevono direttamente il movimento dagli stantuffi. La pressione che ha luogo sulle grandi ruote determina un attrito colle rotaie, sufficiente perchè esse girando non striscino su quelle, ma progrediscano a guisa di ruote dentate, che ingranino nei denti di rotaie pure dentate.

In generale, nelle macchine a gran velocità, le ruole motrici sono in numero di due, o meglio quattro, per aumentare l'aderenza, e assai grandi, per aumentare lo spazio percorso ad ogni giro della manovella, e quindi la velocità. Per conseguenza il peso rimorchiato deve essere piccolo, perchè aumentando uno dei fattori del lavoro di una data forza, cioè lo spazio, diminuisce l'altro, cioè la resistenza che essa può vincere. Invece, pei convogli merci, che presentano maggior resistenza, per il gran numero di carri che li compon-

gono, si usano macchine con sei o più ruote, piccole e accoppiate fra loro, in modo che ciascuno stantuffo agisce contemporaneamente sulle medesime, le quali sono tutte ruote motrici, cosicchè si utilizza l'attrito dovuto a tutto il peso della macchina.

Nelle locomotive per le montagne si usano caldaie più pesanti sostenute da otto ruote, al fine di aumentare l'aderenza necessaria per vincere la componente della gravità che trascina il convoglio in basso.

Anzi in quelle, si usa ancora, per crescere la potenza di trazione, di accoppiare e rendere motrici le ruote del *tender* per modo da ottenere una macchina con 12 e anche 14 ruote motrici.

L'aderenza, in condizioni ordinarie di atmosfera, è circa $^1/_7$ del peso che gravita sulle ruote motrici, e quindi, se tutte le ruote sono motrici, circa $^1/_7$ del peso della locomotiva. L' aderenza diminuisce nel caso di fitta nebbia, di minutissima pioggia, di neve o di gelo. Si rimedia in questi casi al difetto di aderenza, col fare giungere sabbia sulle rotaie.

Per invertire il movimento della locomotiva, il macchinista, dopo averla fermata, inverte, mediante una leva, la posizione della valvola di distribuzione del vapore, in modo che questa si faccia in senso inverso della precedente.

Se poi egli effettua tale inversione mentre la macchina è in moto, allora dà il *controvapore*, che ha per scopo di arrestare quella più celeremente.

Le locomotive sono macchine ad alta pressione, perchè in esso non si può far uso nè di grandi cilindri, nè del condensatore, il quale richiede molto spazio e molta acqua, e perciò si è costretti ad impiegare vapore a 7, 8, 9 e più atmosfere. Invece nelle navi, ove si può disporre di maggior spazio, si usano grandi cilindri e la condensazione; perciò le loro macchine sono ordinariamente *a bassa pressione*.

9. Navi a ruote e ad elice. — Nelle navi a ruote, il propulsore consiste in due grandi *ruote a palette*, collocate ai loro fianchi, e che pescano inferiormente nell'acqua.

Nelle moderne *navi ad elice* (Sauvage, 1830), la macchina a vapore comunica un celere moto rotatorio all'elice, che consiste in un albero a cui sono infisse grosse *ali di metallo*, ricurve in modo da costituire un giro, o più parti di un giro di elica, con

un diametro di 1 $^1/_2$ fino a 3 metri, collocata sotto la nave, se ve ne è una sola, e sui fianchi se ve ne sono due, verso la parte posteriore (a poppa) in vicinanza del timone (fig. 54).

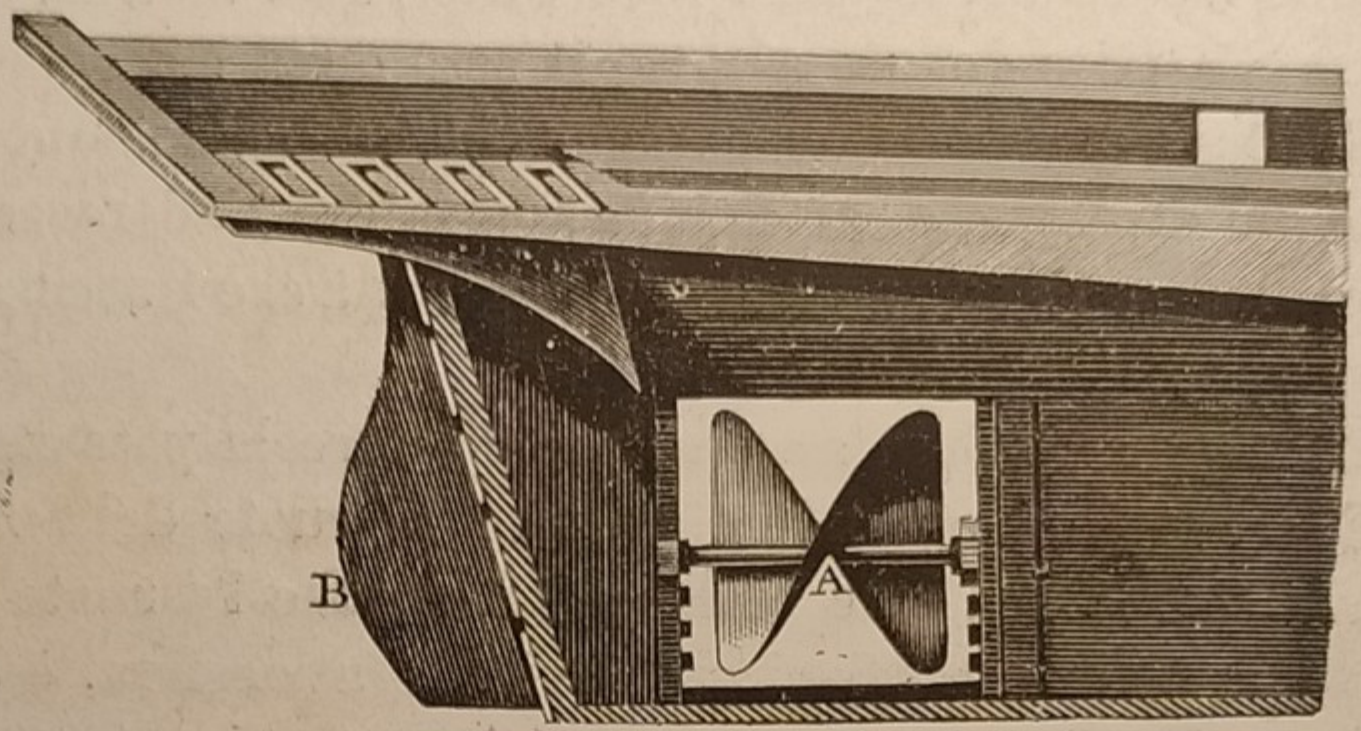


Fig. 54.

Come il cavaturaccioli nel tappo di sughero, e il succhiello nel legno, girando in un senso o nell'altro, procedono innanzi o indietro, così l'elice girando nell'acqua, per la resistenza di questa, progredisce o retrocede, assieme al battello cui è unita.

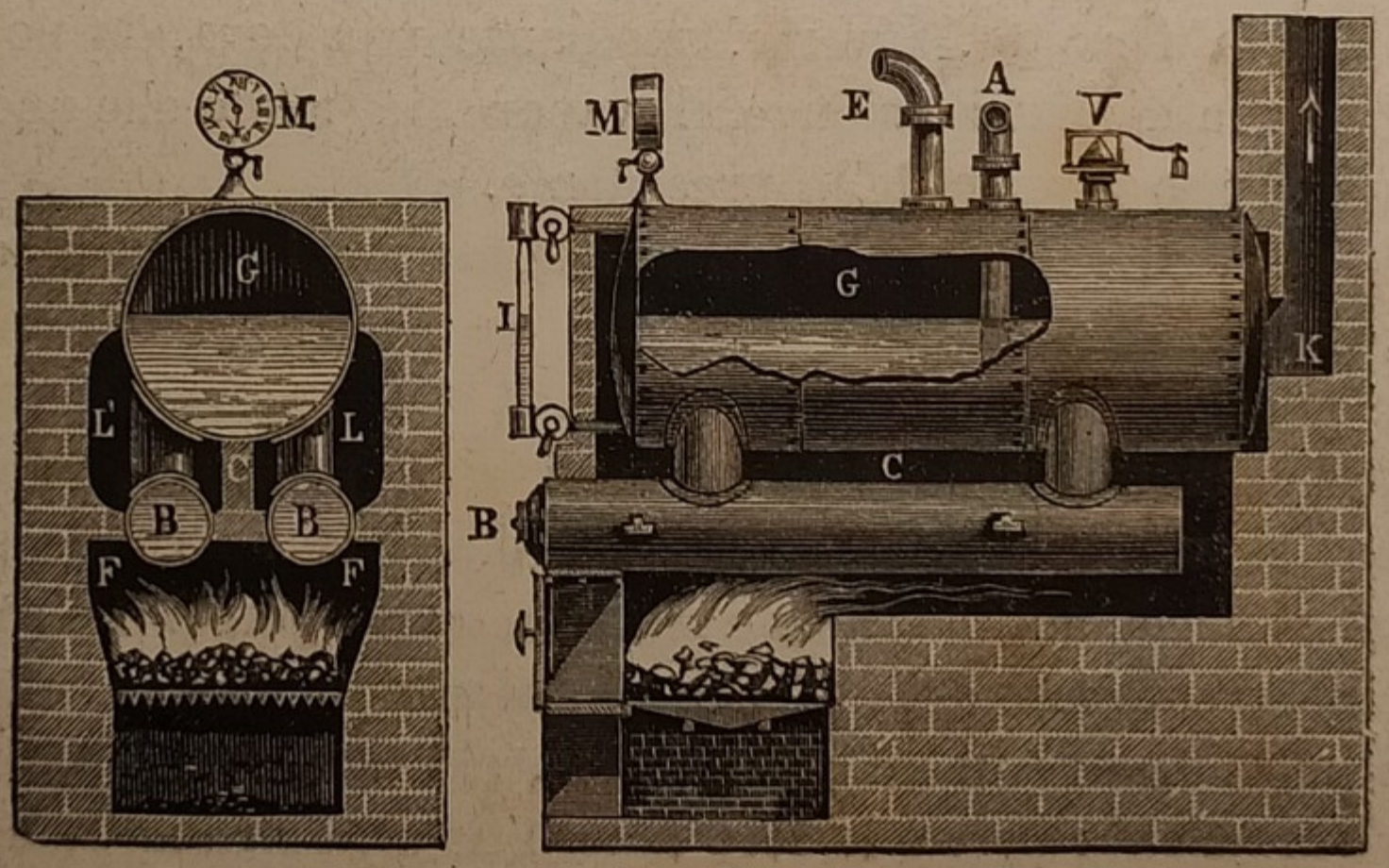


Fig. 55.

10. Generatore del vapore o caldaia. — La caldaia è costituita da uno o più recipienti fatti con lastre di ferro riunite con chiodi ribaditi a caldo.

Se ne costruiscono di varie forme, fra le quali si possono distinguere tre tipi, cioè *caldaie a focolare esterno, caldaie a focolare interno*, e *caldaie tubulari*.

Le caldaie a focolare esterno sono usate specialmente per le macchine fisse, ove vi è abbondanza di spazio. Consistono in un gran cilindro orizzontale (C, fig. 55), il quale, mediante tubi discendenti comunica con altri due cilindri orizzontali inferiori, di minor diametro e paralleli, detti *bollitori*

(BB); questi e la metà circa del gran cilindro sono pieni d'acqua. Il tutto è disposto in un fornello di muratura, come indica la figura.

Il focolare (FF) è collocato all'estremità anteriore, sotto i bollitori, mentre il camino (K) si trova all'altra estremità. Lo spazio compreso fra il focolare e il corpo cilindrico della caldaia è ordinariamente diviso in tre scompartimenti da due pareti in muratura: uno (FF′) è compreso tra il focolare e i bollitori, e gli altri due sono l'uno (L) a destra, e l'altro (L′) a sinistra di una parete verticale mediana (C). I prodotti della combustione percorrono dapprima il canale inferiore (F F′) e riscaldano l'acqua dei bollitori, indi ritornano indietro pel secondo canale (L), ed infine vanno nel camino pel terzo canale, riscaldando così in basso e sui due fianchi l'acqua del grande cilindro.

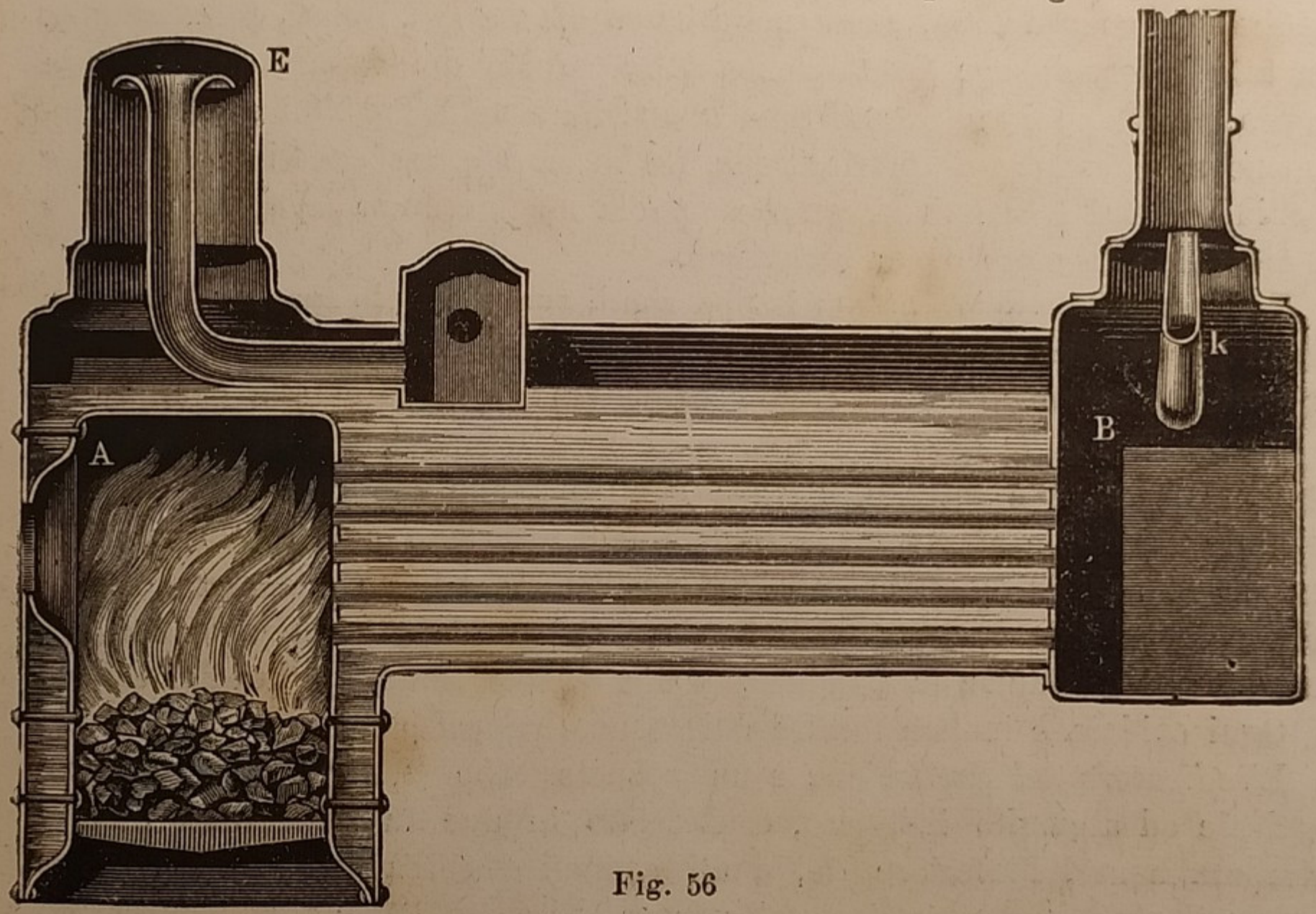


Fig. 56

Così il calore è utilizzato il meglio possibile. Il vapore si raccoglie nella parte superiore della caldaia.

Vi sono anche caldaie costituite semplicemente dal cilindro superiore senza i bollitori.

La caldaie a focolare interno consistono in un cilindro anulare, cioè cavo all'interno, ove si trova il focolare, il quale è così avviluppato completamente dalla caldaia, nel qual modo si ottiene grande economia di spazio. Tale disposizione è sovente accoppiata alla seguente.

Caldaie tubulari. — Infine, nelle locomotive, la caldaia è a focolare interno (fig. 56), cioè questo è al di sotto della parte anteriore della caldaia in A), e dall'estremità del medesimo opposta alla bocca (D) per la quale si introduce il combustibile, partono molti tubi di ottone aperti ai loro capi, cioè verso il focolare e verso il camino (B), i quali attraversano la caldaia, per modo che esternamente sono circondati dall'acqua di essa, mentre nel loro

interno sono riscaldati dalla fiamma e dai gas caldi che nascono dalla combustione. Il loro numero varia da 100 a 300, nei differenti tipi di locomotive.

Così si ottiene una grande superficie di riscaldamento, che permette una abbondante produzione di vapore, siccome è necessario nelle locomotive che ne fanno enorme consumo.

Non si sarebbe potuto utilmente applicare il vapore alle strade ferrate e alle navi senza l'invenzione delle *caldaie tubulari*, che rese possibile il generare un'enorme quantità di vapore con una caldaia ed un forno relativamente piccoli. Codesta invenzione è dovuta all'ingegnere francese Séguin.

Il vapore che si sviluppa nella caldaia si raccoglie nella parte superiore di questa, e specialmente nella *cupola del vapore* (E, fig. 53 e 56), donde, mediante un largo tubo, passa nella cassa chiusa (F), isolata dalla caldaia. Da tale cassa, oppure direttamente dalla cupola del vapore quando essa manca, partono poi due canali (uno *a* è visibile nella fig. 53) i quali lo conducono nella camera di distribuzione. La bocca di questi canali si può aprire e chiudere dal macchinista con una valvola mediante una leva, per mettere la macchina in moto o per arrestarla.

La cupola del vapore ha per iscopo, sia di aumentare lo spazio del vapore, sia di permettere la presa di questo ad una maggiore distanza dall'acqua, affinchè sia meno mescolato colle goccie liquide sollevate dalla ebollizione.

Le *caldaie delle navi a vapore* sono pure tubulari, ma un poco differenti. Il focolare è interno, e i gas caldi passano dapprima per un tubo centrale unico che attraversa la caldaia, indi ritornano indietro per un certo numero di tubi dai quali passano poi nel camino, situato alla stessa estremità della caldaia ove trovasi il focolare. Questo doppio cammino dei gas, permette di diminuire la lunghezza della caldaia senza perdita del calore.

Ogni caldaia è inoltre fornita dei seguenti apparecchi.

L'*indicatore del livello*, che è un robusto tubo (I, fig. 55) di cristallo, verticale od alquanto inclinato, masticciato in due tubi metallici piegati orizzontalmente, l'inferiore dei quali comunica coll'acqua della caldaia, mentre il superiore comunica col vapore. Siccome l'acqua si solleva nel medesimo allo stesso livello della caldaia, perciò questo è sempre visibile. I tubi metallici orizzontali sono muniti di chiavetta per chiudere le comunicazioni colla caldaia nel caso di rottura del tubo di cristallo.

Il *fischietto d'allarmi*, nella locomotiva, serve al macchinista per dare l'avviso della partenza, dell'arrivo, e di ogni movimento della macchina. Esso è costituito come i fischietti ordinarii, solo che è circolare la fenditura o luce per cui si fa uscire il vapore, il quale urtando contro il labbro superiore, tagliente e pure circolare, di una campanella sovrastante genera un acuto suono.

Il fischietto a vapore è un ritrovato di un operaio, che ne fu premiato con pensione, perchè di molta utilità. Infatti, non solo esso è così forte da farsi udire a tre e più *km.* di lontananza, ma è così caratteristico da non poter essere scambiato con un altro; ciò che non sarebbe del suono di una campana, o dell'esplosione di un petardo.

Il *manometro* metallico (M, fig. 55), collocato sul davanti della caldaia, è destinato ad indicare la pressione del vapore.

La *valvola di sicurezza* (V, fig. 55) è costituita da un tappo che chiude un foro della parte superiore della caldaia, e il quale viene aperto solo quando la pressione del vapore eccede un certo limite. Perciò sul medesimo appoggia una leva, di terzo genere, il cui fulcro è ad un'estremità nella cerniera, la potenza è la pressione del vapore che tende a sollevare il tappo premuto dal peso della leva e da un peso mobile lungo la medesima. Quando la pressione del vapore supera quella esercitata dalla leva il tappo viene spostato ed il vapore esce.

Il diametro della valvola di sicurezza deve essere abbastanza grande perchè quando essa viene aperta il vapore possa uscire in abbondanza.

Nelle locomotive ve ne sono due, e la leva è trattenuta da una molla spirale che fa le veci del peso mobile. (Sono disegnate nella figura 53 sopra ed accanto la cupola E del vapore).

A misura che l'acqua viene ridotta in vapore, diminuisce nella caldaia, e bisogna rinnovarla. Essa deve arrivare nel fondo della medesima, perchè se venisse in contatto col vapore, essendo più o meno fredda ne produrrebbe una condensazione parziale. Di più quest'acqua deve essere spinta nella caldaia mediante una pressione superiore a quella del vapore, perchè vi possa entrare.

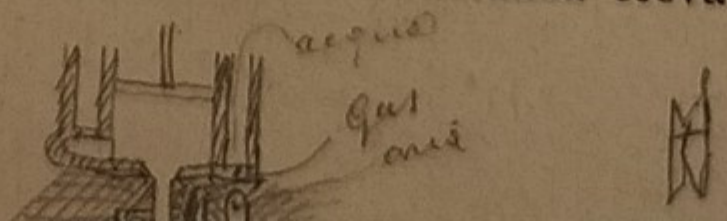
Una volta si usava a tale scopo una pompa aspirante e premente, messa in azione dalla macchina stessa, mediante un eccentrico. Oggidì si usa frequentemente un altro apparecchio ingegnoso detto *iniettore Giffard*, col quale si spinge l'acqua nella caldaia per mezzo di un getto di vapore derivato dalla caldaia stessa.

Perchè la combustione nel focolare sia abbastanza viva si richiede che l'aria esterna arrivi abbondantemente nel medesimo, cioè una sufficiente aspirazione. Questa si ottiene nelle macchine fisse mediante camini più o meno elevati, poichè l'aspirazione d'un camino cresce col crescere della sua altezza. Ma nelle locomotive, che debbono passare sovente sotto ponti e gallerie, non è possibile l'uso di elevato camino. Si è rimediato a codesto difetto mediante un'aspirazione artificiale prodotta dal vapore il quale, dopo aver agito in ciascun cilindro, passa nel camino per un canale (*k*, fig. 53). I canali dei due cilindri si riuniscono in uno solo (*k*, fig. 56) che si restringe al suo sbocco, affinchè il vapore sia costretto a uscire con molta pressione. Così esso si solleva nel camino con violenza, e trae seco l'aria, per modo da produrre l'aspirazione di altra aria dall'esterno attraverso la griglia, il focolare e i tubi di rame, attivando la combustione.

Naturalmente, la pressione del vapore che esce dal cilindro per venire nel camino deve essere superiore all'atmosferica; quindi le locomotive devono essere macchine ad alta pressione. Il che nasce ancora dalla impossibilità che vi è nelle medesime di far uso di condensatori e grandi cilindri, e di trascinare grandi masse d'acqua, siccome richiede la condensazione.

Da tale aspirazione artificiale prodotta dal vapore, che si solleva con violenza nel camino di una locomotiva, nasce il particolare rumore che accompagna il movimento di questa, il quale non si sente nelle macchine fisse con camino elevato.

Nelle navi a vapore si usa anche il doppio cilindro per lo stesso scopo che nelle locomotive, ma non l'aspirazione artificiale mediante il vapore, perchè si può usare un camino abbastanza elevato.



Capitolo II.

METEOROLOGIA

§ 21. — Umidità dell'aria.

1. Chiamasi **meteorologia** il ramo della Fisica che studia le *meteore*, cioè i fenomeni che presenta l'involucro gazoso del globo terrestre detto *atmosfera*, come la temperatura e l'umidità dell'aria, i venti, le nubi, la pioggia, la neve e la grandine, il fulmine, le aurore polari, l'arcobaleno, ecc.

Oggidì la si distingue in *meteorologia teorica e pratica*. La prima studia i fenomeni atmosferici prodotti dal calore, dalla luce e dall'elettricità. La seconda ha per iscopo la *previsione del tempo* mediante le osservazioni barometriche, ecc.

Nei seguenti paragrafi di questo capitolo vengono esposti i fenomeni meteorici dipendenti dal calore, mentre quelli dipendenti dalla luce e dall'elettricità verranno esposti nei rispettivi capitoli.

2. Vapore acqueo nell'atmosfera. — Per l'evaporazione delle acque che si trovano alla superficie terrestre l'aria contiene sempre vapore acqueo. Questo vapore è incoloro e invisibile, come la maggior parte dei gas, finchè non si condensa in goccioline, che costituiscono le nubi e le nebbie. Tale condensazione avviene sempre quando l'aria è satura di detto vapore. Ora la quantità di vapore necessaria per saturare un dato spazio cresce e diminuisce col crescere e diminuire della temperatura. Così 1 m^3 di aria a 20° è saturo quando contiene 17,31 *gr.* di vapore acqueo, mentre a 0° è già saturo con 4,91 *gr.*

3. Umidità relativa ed assoluta. — La quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria si dice *umidità*, e si distingue in *assoluta* e *relativa*.

L'*umidità assoluta* è il peso (in grammi) del vapore acqueo contenuto in un metro cubo di aria.

L'*umidità relativa* è il rapporto fra il peso del vapore contenuto in 1 m^3 di aria e quello necessario per la saturazione, alla stessa temperatura.

Per es., se 1 m^3 di aria a 20° contiene 4,91 *gr.* di vapore acqueo, l'umidità assoluta è 4,91, e l'umidità relativa è

$$\frac{4,91}{17,31} = 0,28$$

perchè, come si disse, 1 m^3 di aria a 20°, satura di vapor acqueo, contiene 17,31 *gr.* di questo.

Il detto rapporto si dice anche *stato igrometrico* o *frazione di saturazione*.

E per non avere a considerare delle frazioni decimali si rappresenta con 100 la quantità di vapore necessaria per saturare l'aria alla sua temperatura attuale, e allora l'umidità relativa invece di essere espressa dalla frazione 0,28 è espressa dal prodotto $100 \times 0,28 = 28$, cioè dal numero intiero 28.

Ora l'aria si dice *umida* quando è satura di vapore acqueo, o prossima alla saturazione, e *secca* quando è lontana dalla saturazione.

E siccome la quantità di vapore necessaria per saturare un dato spazio cresce col crescere della temperatura, ne consegue che, colla stessa quantità di vapore, l'aria calda può essere asciutta, mentre l'aria fredda è umida, e che ogni massa di aria, se viene sufficientemente raffreddata, può divenire satura con la quantità di vapore che contiene.

Così, l'aria al mattino è generalmente più umida che al pomeriggio, perchè è più fredda, quantunque al mattino contenga, in generale, minore quantità di vapore, perchè durante il giorno se ne solleva continuamente. Così pure nell'inverno l'aria è ordinariamente più umida che nella state, perchè più fredda, mentre essa contiene, in generale, minor quantità di vapore, essendo allora l'evaporazione meno copiosa.

Parimente, quando si riscalda una camera, nella quale non vi sia acqua che possa somministrare nuovo vapore, l'umidità assoluta rimane costante, ma l'umidità relativa diminuisce, cioè l'aria diviene secca perchè si allontana dalla saturazione.

L'aria può allora divenire sin troppo secca, e perciò si usa porre sulle stufe un recipiente di acqua, destinata a somministrare, coll'evaporazione prodotta dal calore della stufa, la quantità di vapore necessaria per mantenerla in una conveniente umidità relativa.

Così pure, mentre l'umidità assoluta è maggiore nella zona torrida che nelle temperate e polari, perchè in quella l'evaporazione è più attiva, avviene il contrario per l'umidità relativa, perche l'aria è più lontana dalla saturazione.

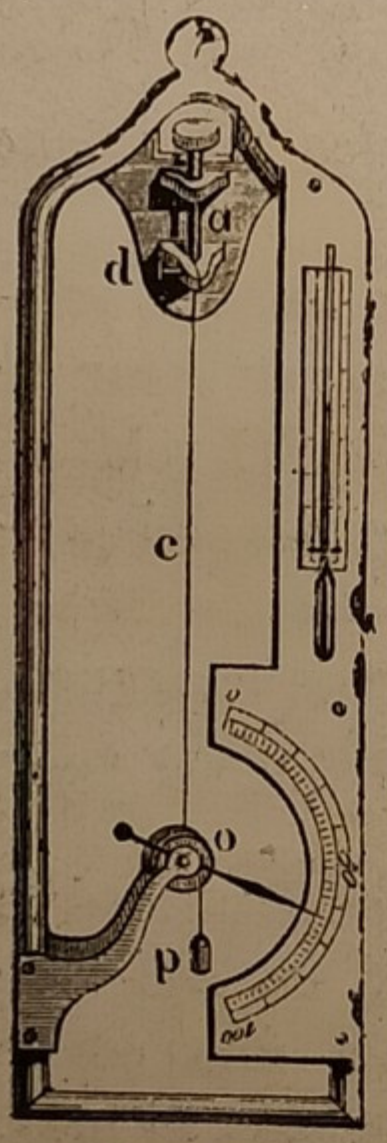


Fig. 57.

Solo durante le lunghe pioggie l'aria è satura di vapore acqueo, e allora la sua umidità è massima; ordinariamente essa è più o meno lontana dallo stato di saturazione, cioè più o meno secca.

4. Igroscopio a capello, di Saussure. — Chiamansi *igroscopi* gli stromenti che annunziano l'umidità dell'aria, e *igrometri* quelli che servono a misurarla.

Gli igroscopi più semplici e più comuni consistono ordinariamente in una figura che presenta qualche movimento col variare dell'umidità.

Per es., è un cappuccino il cui capuccio si solleva sulla testa del medesimo quando il tempo è umido, ed invece si abbassa quando è asciutto.

Il che si ottiene mediante un filo di minugia teso o torto, fisso ad un capo e attaccato per l'altro al cappuccio. Le variazioni di lunghezza (*), o di torsione, che subisce la minugia col variare dell'umidità, producono il detto movimento.

Più preciso è l'*igroscopio a capello di Saussure*, il quale è costituito da un telaio di legno, o di metallo (fig. 57), su cui è teso un capello (*c*) (**) fisso ad una estremità con una pinzetta (*d*), e che all'altra estremità si avvolge

---

(*) I capelli, i crini, la minugia (budello di pecora) ed in generale le sostanze organiche animali, si allungano per l'umidità, e si accorciano per secchezza. La canapa invece si accorcia per l'umidità.

(**) Questo deve essere digrassato facendolo bollire per ½ ora in una soluzione di carbonato sodico nell'acqua.

su di una delle scanaluture di una carrucola (*o*) a doppia scanalatura alla quale è fissato. Sull'altra scanalatura della carrucola si avvolge in senso contrario un filo di seta a cui è sospeso un piccolo peso (P). L'asse della carrucola porta un indice che scorre su di un quadrante graduato. Quando il cappello si accorcia fa girare la carrucola e quindi l'indice in un verso; quando invece si allunga, allora il peso attaccato al filo di seta fa girare la carrucola, e quindi l'indice, in verso contrario.

Per graduare lo stromento si segna 0° ove l'indice si arresta dopo averlo lasciato per quindici o venti giorni sotto una campana di vetro della quale si essica l'aria lasciando in essa qualche sostanza avida di umidità, come per es. del cloruro di calcio. Quando l'indice è divenuto stazionario, e che il capello più non si accorcia, si nota lo zero all'estremità dell'indice.

Si ottiene l'altro punto estremo ponendo lo stromento sotto una campana nella quale si satura l'aria di vapore, lasciando in essa dell'acqua che evapora lentamente, fino alla saturazione. Al punto in cui si arresta allora l'indice si segna 100.

Dividendo l'intervallo fra 0 e 100, in 100 parti eguali, i gradi segnati dall'indice non sono proporzionali allo stato igrometrico. Per es., quando l'indice segna 50°, numero che corrisponde al mezzo della graduazione, l'aria è lungi dall'essere alla metà della saturazione.

Perciò Gay-Lussac ha costrutto una tabella nella quale sono indicate le umidità relative corrispondenti ai gradi indicati dallo stromento, dalla quale risulta che solo a circa 72°, l'aria è al grado medio di saturazione.

Siccome l'indice dell'igrometro alla superficie della terra è generalmente a questo grado, se ne deve concludere che l'aria alla superficie terrestre contiene ordinariamente la metà del vapore che dovrebbe contenere per essere satura.

Finalmente, Regnault ha riconosciuto che la tavola costruita da Gay-Lussac vale solo per il suo igroscopio, e che si richiede una tavola speciale per ciascuno, poichè le indicazioni di questi stromenti variano secondo il colore, la finezza, e il modo di sgrassamento del capello, per modo che bisognerebbe costrurre una tabella speciale per ogni igroscopio, e le indicazioni variano un poco colla temperatura e col tempo. Permodochè questo stromento così comodo può servire solo come *igroscopio* e non come igrometro.

5. Igrometro chimico. — Il metodo dell'igrometro chimico consiste semplicemente nel fare passare un dato volume di aria per parecchi tubi contenenti una sostanza assorbente il vapore acqueo, p. es., cloruro di calcio secco. Si pesa questo prima, e poi dopo che ha assorbito tutta l'umidità contenuta in quel volume di aria; dall'aumento del peso si ha la quantità di vapore contenuta in quello. Siccome poi si conosce il peso di vapore che sarebbe necessario per saturare lo stesso volume di aria, così si può esattamente determinare lo stato igrometrico.

Questo processo è il più preciso, ma non ha il grado di semplicità che si richiede nelle osservazioni meteoriche giornaliere.

6. Igrometri a condensazione. — Siccome la quantità di vapore necessaria per saturare un metro cubo d'aria diminuisce col diminuire della temperatura, consegue che raffreddando quello sufficientemente può sempre divenire saturo colla quantità di vapore che contiene, e allora ogni ulteriore raffreddamento determina la condensazione del vapore, il quale si deposita in forma di rugiada sulla superficie dei corpi che si trovano nell'aria, come avviene nella state su un bicchiere di acqua fresca. Perciò si dice *punto di rugiada* la temperatura alla quale l'aria diviene satura colla quantità di vapore che contiene.

Se l'aria è satura di vapore il suo punto di rugiada è éguale alla sua temperatura; se è assai secca il suo punto di rugiada si trova assai al di sotto della sua temperatura; perciò il punto di rugiada permette di giudicare l'umidità relativa dell'aria.

Di più negli igrometri a condensazione *al rapporto fra la quantità di vapore contenuta nell'aria alla sua temperatura attuale e quella necessaria per saturarla*, si sostituisce il *rapporto* $\frac{f}{F}$ *fra la tensione* f *che ha il vapore nell'aria quella* F *del vapore saturo alla stessa temperatura*, perchè questo secondo rapporto è eguale al primo.

Infatti, fino al limite di saturazione i vapori si comportano come i gas. Ma la densità di uno stesso gas è proporzionale alla sua pressione e tensione, perciò anche la densità e quindi il peso di un dato volume di vapore è proporzionale alla sua tensione, d'onde consegue che il rapporto dei pesi è eguale al rapporto delle tensioni.

Su tali principii sono fondati gli igrometri a condensazione di Daniell, di Regnault e quello più recente del prof. Chistoni, nei quali si raffredda gradatamente un corpo a superficie speculare e si nota la temperatura alla quale comincia a velarsi, ossia quella a cui dovrebbe essere portato l'ambiente per essere saturo col vapore che vi si trova. Determinata questa si legge nella tavola di Regnault la tensione massima corrispondente, che sarà la tensione attuale del vapore esistente nell'ambiente, e dividendola per la tensione massima corrispondente alla temperatura dell'ambiente, che è pure data dalla tavola, si ottiene lo stato igrometrico.

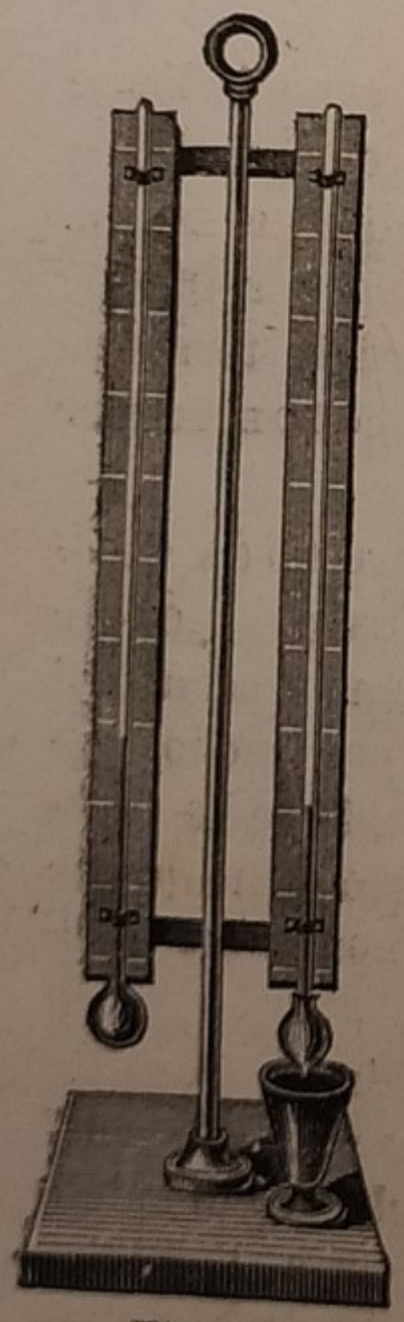


Fig. 58.

7. Psicrometro. — Negli osservatori meteorici si determina speditamente l'umidità relativa mediante lo *psicrometro* (*psicos*, freddo) di August (1825) È costituito da due termometri perfettamente eguali (fig. 58), che danno i decimi di grado, fissati parallelamente ad un medesimo sostegno, ma uno dei quali ha il bulbo scoperto ed asciutto, mentre quello dell'altro è avvolto da una sottile tela di lino comunicante con un recipente contenente acqua che la mantiene bagnata.

Siccome l'evaporazione sottrae calore, perciò il termometro bagnato indica una temperatura inferiore a quella del termometro asciutto, tanto più quanto più abbondante è quella, cioè quanto più l'aria è secca, o lontana dalla saturazione, e quanto più essa è agitata. Perciò, per operare sempre nelle stesse condizioni di agitazione dell'aria, si produce una ventilazione artificiale di essa attorno ai due bulbi mediante un molinello messo in rotazione da un movimento di orologeria, che si mette in azione al momento dell'osservazione.

Ora dalla differenza di temperatura dei due termometri, asciutto e bagnato, la quale si dice *differenza psicrometrica*, si può dedurre la tensione *f* del vapore contenuto nell'aria, o mediante una formola, o più speditamente, mediante le *tavole psicrometriche*. La tensione F del vapore necessario per la saturazione dell'aria alla temperatura della medesima, indicata dal termometro asciutto, si ha dalla tavola di Regnault. Quindi si hanno i dati per determinare lo stato igrometrico.

Questo stromento permette già di giudicare l'umidità dell'aria, mediante la semplice osservazione dei due termometri; quanto maggiore è la differenza delle loro temperature rispetto a quella dell'aria, tanto più questa è asciutta.

8. Risultati generali delle osservazioni igrometriche. — Le ricerche igrometriche hanno dimostrato la seguente regola generale, la quale però è solo approssimativa: *col crescere della temperatura cresce l'umidità assoluta, mentre diminuisce l'umidità relativa.*

Così in generale l'umidità assoluta è massima nella state e minima nell'inverno, mentre è il contrario per l'umidità relativa; e nel periodo diurno l'umidità assoluta è minima al mattino, e massima nel pomeriggio, mentre è il contrario per l'umidità relativa.

Il che si intende osservando che col crescere della temperatura cresce l'evaporazione e quindi l'umidità assoluta; ma ancora più rapidamente cresce la quantità di vapore necessaria per saturare l'aria e la tensione del vapore saturo, per cui diminuisce il rapporto fra quella e questa, cioè l'umidità relativa.

Analogamente l'umidità assoluta è massima fra i tropici e minima nelle regioni polari, mentre l'umidità relativa, in generale, cresce colla latitudine.

La regola vale anche per l'altezza fino ad un certo limite.

Sul suolo è massima l'umidità assoluta e decresce rapidamente verso l'alto, invece l'umidità relativa cresce verso l'alto fino ad una certa altezza in cui l'aria è satura. Da questa zona decresce l'umidità relativa, perchè in generale l'umidità dell'aria è limitata agli strati inferiori dell'atmosfera.

Oltre la temperatura ha grande influenza sull'umidità la vicinanza dei mari. Sebbene i venti e la diffusione del vapore acqueo che si solleva dai mari portino questo anche nell'interno dei continenti, tuttavia in generale l'umidità assoluta e relativa decrescono nell'interno dei continenti.

§ 22. — Temperatura dell'aria e del suolo.

1. Calore solare. — Sebbene la terra, come si è già detto, (pag. 5), abbia un calore interno proprio, questo non si manifesta che ad una certa profondità, e tutto il calore della superficie terrestre proviene dal Sole. Secondo Pouillet il calore che in un anno la terra riceve dal Sole sarebbe capace di fondere uno strato di ghiaccio che la ricoprisse interamente e che avesse la grossezza di 31 *m*.

2. Riscaldamento del suolo e dell'aria pei raggi solari. — L'aria essendo un corpo diatermico, cioè trasparente pel calore, la maggior parte del calore solare arriva al suolo senza riscaldarla. Solo gli strati inferiori assorbono circa $^1/_4$ della radiazione solare, nelle nostre latitudini.

Il che si spiega osservando che il vapore acquëo, secondo Tyndall, come pure l'anidride carbonica, secondo Röntgen, assorbono notevolmente i raggi calorifici oscuri. Concorre pure a tale assorbimento il pulviscolo atmosferico.

Quindi il riscaldamento dell'aria proviene principalmente dal suolo, che assorbendo i raggi solari assai più di essa si riscalda maggiormente e partecipa alla medesima il calore, sia per contatto e la conseguente circolazione, sia per irradiazione calorifica oscura, la quale è dall'aria alquanto più assorbita di quella luminosa.

Questo assorbimento viene effettuato dal vapore acqueo e dall'anidride carbonica, non però dall'ossigeno e dall'azoto, perchè questi gas sono diatermici. E ciò spiega il grande raffreddamento notturno dell'aria asciutta dei deserti, come pure la *diminuzione della temperatura dell'atmosfera dal basso in alto*, perchè gli strati aerei più elevati divengono sempre più poveri di vapore acqueo e di anidride carbonica, essendo la sorgente di questi due corpi aeriformi in basso, alla superficie del suolo, nell'evaporazione delle acque e nelle combustioni.

Pertanto gli strati più elevati vengono assai poco riscaldati, sia direttamente da quella parte dell'irradiazione solare che viene assorbita dall'aria, sia *dall'irradiazione del suolo*, che viene in gran parte assorbita dagli strati inferiori. Di più l'aria riscaldata

dal suolo diventando meno densa si solleva negli strati superiori, ove, per essere minore la pressione, si espande e perciò si raffredda.

Quindi la temperatura dell'aria decresce coll'altezza.

Il dislivello che bisogna superare perchè la temperatura dell'aria diminuisca di 1° centigrado chiamasi *grado aerotermico*. Esso varia colla stagione, coi luoghi, colla latitudine, coll'altitudine, coll'umididità dell'aria, sui monti e nell'aria libera. Il valore medio del grado aerotermico nell'aria libera ricavato da osservazioni fatte durante ascensioni aerostatiche oscilla fra 140 e 160 metri, per altezze non superiori ai 15.000 *m.*, mentre per altezze superiori si ottengono, mediante palloni liberi muniti di stromenti registratori, gradi aerotermici che arrivano sin verso i 200 *m.*

Codesta diminuzione spiega le nevi eterne e i ghiacciai delle elevate montagne, come pure la varietà dei climi nelle regioni montuose dei tropici.

3. Massimi e minimi diurni e annuali della temperatura. — Siccome l'intensità della luce e del calore su di una superficie diminuisce, come insegna l'ottica, col crescere dell'obliquità dei raggi sulla medesima, così il riscaldamento della superficie terrestre dipende sovratutto dall'altezza del sole sull'orizzonte. E siccome quest'altezza presenta variazioni diurne e annue, perciò la temperatura del suolo e dell'aria presenta in ogni luogo un massimo e minimo diurno e annuo.

Però il *massimo diurno* non avviene al mezzodì, quando l'altezza diurna del sole è massima e l'obliquità dei suoi raggi è minima, ma dalle 2 alle 3 pomeridiane nell'interno dei continenti, perchè fino a tale ora la quantità di calore che il suolo e l'aria ricevono dal sole in un dato tempo è maggiore di quella che perdono per irradiamento nello spazio. Dopo la detta ora invece, per la crescente obliquità dei raggi, la quantità di calore ricevuta dal suolo e dall'aria in un dato tempo diviene minore di quella perduta per irradiazione nello spazio, e perciò comincia l'abbassamento della temperatura. Sul mare e sui lidi questo massimo anticipa alquanto ed ha luogo verso 1 ora pomeridiana.

Siccome poi nella notte il suolo e l'aria irradiano continuamente calore senza riceverne dal sole, perciò il massimo freddo notturno si sente allo spuntare del sole nei paesi interni, e circa due ore prima sui mari e sulle spiagge.

Per la stessa cagione il *massimo caldo estivo* non avviene al solstizio estivo (21 giugno) quando l'altezza del sole sull'orizzonte è massima, ma verso la fine di luglio, perchè fino a tale epoca la quantità di calore che il suolo e l'aria ricevono dal sole nel giorno è maggiore di quella che perdono per irradiazione nella notte.

Dopo succede il contrario, e perciò comincia il raffreddamento, e il *massimo freddo invernale* non coincide col solstizio d'inverno (21 dicembre) quando l'altezza del sole sull'orizzonte è minima, ma si sente verso la fine di gennaio perchè fino a tale epoca la quantità di calore perduta dal suolo e dall'aria nelle lunghe notti invernali è maggiore di quella che ricevono nelle corte giornate di tale stagione.

Codeste variazioni annuali della temperatura sono minime nelle regioni intertropicali, perchè ivi sono minime le variazioni nella durata rispettiva dei giorni e delle notti, e nella obliquità dei raggi solari sulla superficie terrestre. Esse invece crescono verso i poli col crescere delle dette variazioni.

4. Penetrazione del calore solare nel suolo. — Il calore solare penetra nel suolo fino ad una certa profondità, producendo nel medesimo tempo variazioni diurne e annuali della temperatura, come alla superficie e nell'atmosfera. Però quelle diurne sono appena percettibili negli ordinari sotterranei, mentre quelle annue discendono più o meno profondamente secondo i luoghi; ma, per la cattiva conduttività del suolo, nelle zone temperate impiegano circa 6 mesi per giungere alla profondità di 8 *m*. Perciò ivi si ha il massimo caldo quando all'esterno regna il massimo freddo, ed inversamente.

5. Strato di temperatura invariabile e grado geotermico. — Le variazioni annue della temperatura penetrano nel suolo solo fino ad una profondità variabile coi luoghi. Dappertutto però esiste ad una certa profondità uno strato in cui le variazioni annuali della temperatura cessano di essere sensibili e nel quale regna costantemente una temperatura eguale alla media temperatura esterna dell'aria. Tale strato si dice di *temperatura invariabile*, e la sua profondità varia da 1 a 30 *m*. Essa è di 1 a 2 *m*. presso l'equatore; di 5 a 6 *m*. fra l'equatore e i tropici; di circa 25 *m*. nelle zone temperate. Un termometro che da più di 100 anni è collocato in una delle cantine dell'Osser-

vatorio di Parigi, alla profondità di 28 *m.* circa, indica sempre la temperatura di 11°,7, che è la media temperatura di Parigi.

Al di sotto dello strato di temperatura invariabile la temperatura cresce colla profondità. Il numero dei metri di profondità corrispondente ad 1° C. di aumento della temperatura chiamasi *grado geotermico*. Questo varia coi luoghi e colla profondità, arrivando oltre 50 *m.* in talune miniere di metalli, e scendendo al di sotto di 20 *m.* in cave di carbon fossile. Nelle gallerie del Cenisio e del Gottardo il valore medio risultò poco inferiore a 50 *m.* Al Sempione sembra minore.

6. Misura della temperatura dell'aria. — Siccome il riscaldamento dell'aria non è effettuato in massima parte direttamente dal sole, ma indirettamente per un complicato processo, perciò avviene più lentamente che quello degli altri corpi. Nelle regioni polari i raggi solari possono fondere la pece delle navi mentre l'aria rimane freddissima ; sulle elevate montagne nelle serene giornate estive si cammina sulla neve mentre il sole è scottante. Perciò un termometro esposto al sole non dà la temperatura dell'aria ma una temperatura assai più elevata. *Per misurare la temperatura dell'aria* deve il termometro essere mantenuto all'ombra, cioè riparato, sia dall'irradiazione solare diretta, sia da quella dei corpi circostanti, sia dalla pioggia e dal freddo prodotto dalla sua rievaporazione, sia infine dalla sua propria irradiazione verso corpi freddi, ecc.

Un termometro prende la vera temperatura dell'aria anche ai raggi solari se viene appeso ad una funicella e fatto per qualche tempo girare (*termometro fionda*).

Negli osservatorii si usano oggidì con vantaggio i *termometrografi* che segnano automaticamente l'andamento della temperatura su un foglio di carta.

Per la massima e minima temperatura diurna e notturna servono i termometri a massima e a minima (paragr. 8).

7. Temperature medie. — *La media temperatura diurna* si ottiene dividendo la somma delle temperature osservate nelle diverse ore del giorno per il numero delle osservazioni.

L'esperienza ha dimostrato (Congresso meteorologico di Vienna, 1873) che si ottiene assai approssimativamente detta media facendo la media delle temperature osservate, alle 6 del mattino, alle 2 pomeridiane ed alle 10 di sera.

Negli osservatorii italiani si determina la media diurna nel modo suggerito dal prof. Cantoni, cioè dividendo per 4 le somme delle temperature, massima e minima, e di quelle delle 9 ant. e 9 pom.

La media diurna serve alla determinazione di tutte le altre temperature medie, e specialmente per quella della *temperatura normale diurna*. Questa si ottiene, quando si ha la media temperatura di un giorno per un gran numero di anni, per esempio 30, facendo la somma dei 30 valori e dividendola per 30. Questa normale temperatura si prende per termine di confronto indicando di quanti gradi la temperatura è sopra o sotto la normale.

Si ha la *media temperatura di un mese* dividendo la somma delle medie temperature di tutti i giorni del mese pel numero di questi. Se ciò si fa per una serie di anni si ottiene la *temperatura normale* di quel mese.

La media temperatura di un anno si ha dividendo per 12 la somma delle sue 12 medie temperature mensili; ovvero più esattamente dividendo per 365 la somma delle 365 medie diurne.

Infine la *media temperatura di un luogo* si ottiene dividendo la somma del maggior numero possibile di medie temperature annue pel numero degli anni.

La media temperatura all' equatore è		27°,
»	di Algeri »	20°,
»	di Berlino »	9°,
»	di Pietroburgo »	5°,
»	della Lapponia »	0°,
»	dello Spitzberg »	— 10°,
»	della Siberia nordica è	— 15°,
»	nell'Arcipelago americano nord è	— 22°.

8. Linee isotermiche. — Si dicono *linee isotermiche* od *isoterme* quelle che passano pei luoghi di eguale temperatura annuale, e *carte isotermiche* quelle su cui sono segnate dette linee (fig. 59).

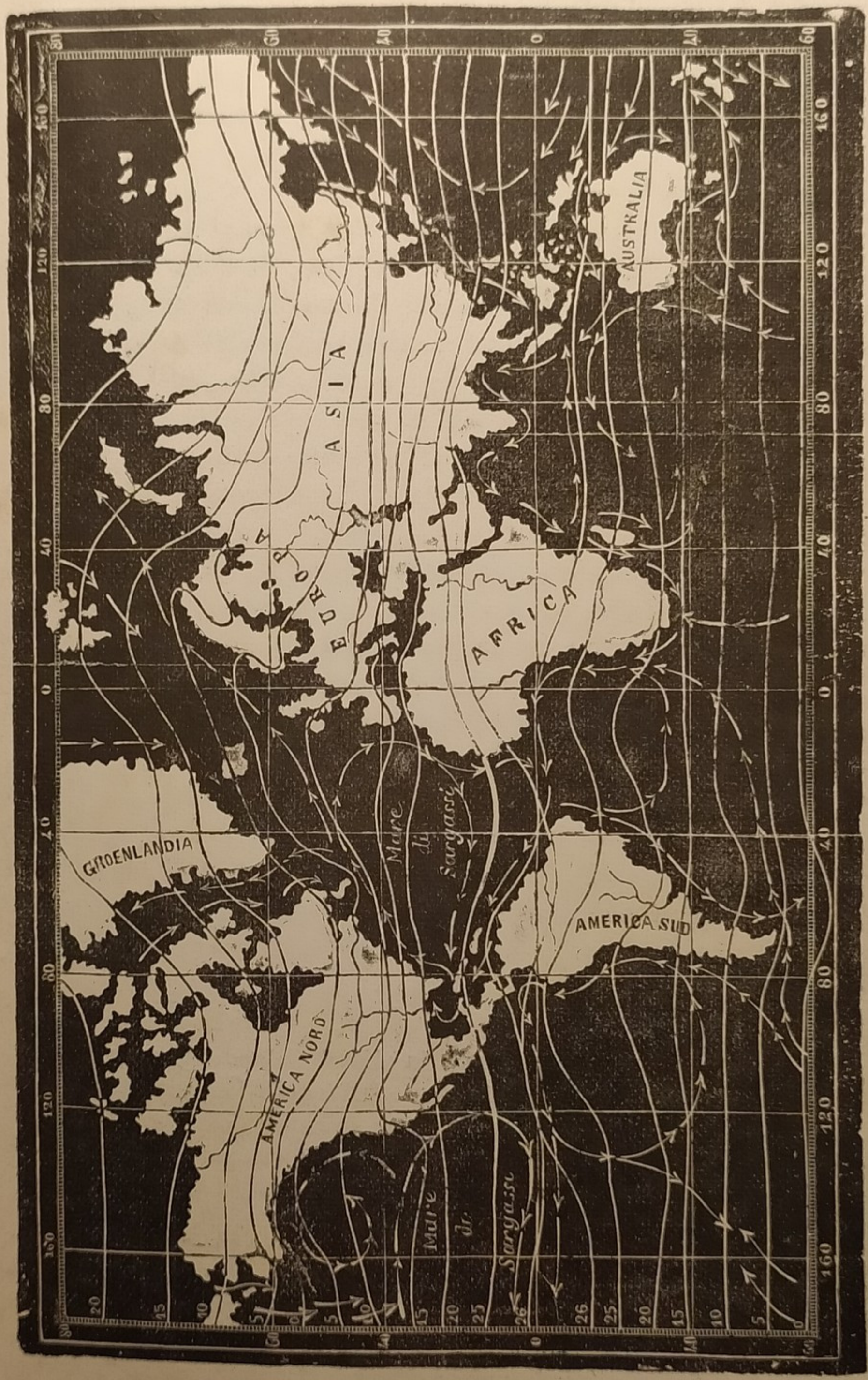

AUSTRALIA
ASIA
EUROPA
AFRICA
GROENLANDIA
Mare di Sargassi
AMERICA SUD
AMERICA NORD
Mare di Sargassi

Fig. 59.

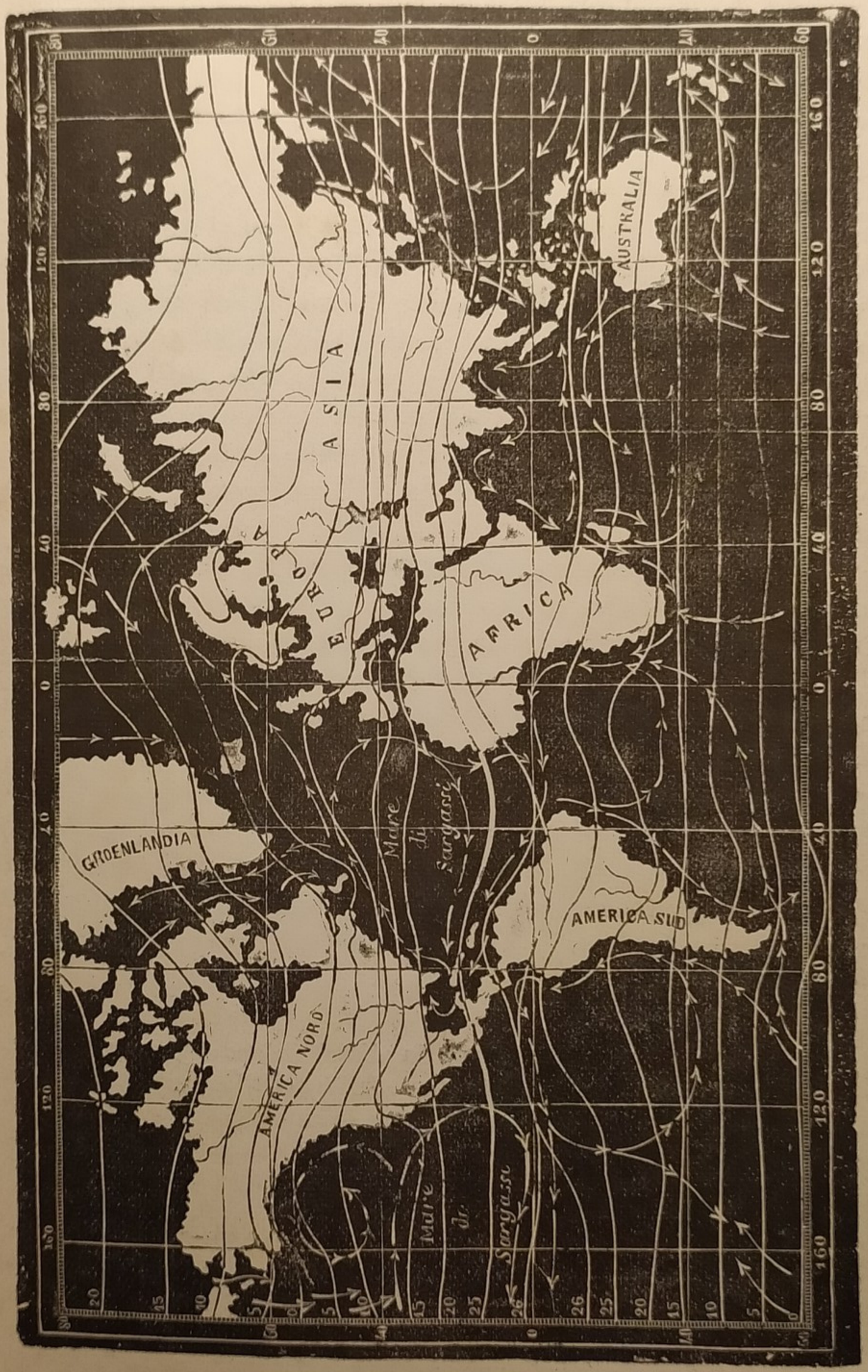

EUROPA
ASIA
AUSTRALIA
AFRICA
GROENLANDIA
AMERICA NORD
AMERICA SUD
Mare di Sargasso
Mare di Sargasso

Fig. 59.

Siccome poi la temperatura dell'aria decresce coll'altezza, perciò nel considerare le linee isoterme si riducono le temperature al valore che avrebbero al livello del mare.

Le medie temperature e le isoterme permettono di conoscere la distribuzione del calore sulla superficie terrestre; ma esse non bastano alla conoscenza del *clima* dei diversi paesi, il quale dipende ancora da altre cause. Infatti due luoghi possono avere eguale temperatura media, e tuttavia diverso clima, quando, per es., uno ha inverno freddo ed estate calda, e l'altro mite inverno ed estate fresca. Così la media temperatura del bacino del Reno è eguale a quella del sud dell'Irlanda, ma questa ha così mite inverno che vi prospera il mirto all'aria libera, mentre questo gela colà nel freddo inverno; invece ivi l'estate è abbastanza calda per una ottima maturazione dell'uva, mentre ciò non avviene nella fresca state dell'Irlanda.

Perciò per determinare più esattamente i climi Humboldt ha ideato le linee *isotere* ed *isochimene*, e Dove ha preparato per tutta la superficie terrestre le *carte isotermiche mensili*.

Diconsi *linee isotere* quelle che passano pei luoghi di egual temperatura media estiva, e *isochimene* quelle che passano pei luoghi di eguale temperatura media invernale.

Le *isoterme mensili* sono linee che congiungono i luoghi di egual temperatura normale nello stesso mese.

Le carte delle 12 isoterme mensili permettono di confrontare l'andamento annuo della temperatura nei diversi luoghi, e le isoterme di gennaio e luglio possono anche valere siccome linee isochimene ed isotere.

9. Risultati generali intorno alla distribuzione del calore solare sulla superficie terrestre manifestati dalle carte isotermiche. — *In generale il calore diminuisce col crescere della latitudine geografica, cioè della distanza dall'equatore.* Ciò prova che la temperatura media dei luoghi dipende principalmente dalla maggiore o minore obliquità con cui vi arrivano i raggi solari.

Tuttavia le linee isotermiche non sono esattamente parallele all'equatore, ma presentano sinuosità più o meno grandi per l'azione dei continenti e dei mari. Così Pekino e Boston, che hanno una latitudine eguale a quella di Palermo e Napoli, si trovano con Dublino sulla stessa isoterma di 10°, quantunque questa città sia 150 miglia più al nord. L'isoterma di 0° passa pel capo nord e Irkutsk che giace 20° più al sud di quel punto.

Dunque luoghi la cui differenza di latitudine arriva a 20° possono avere eguale temperatura media. Ed inversamente luoghi di eguale latitudine possono avere assai diversa temperatura media. Così Bergen in Norvegia ha una temperatura media di 5°, mentre Irkutsk, ad eguale latitudine, ha la temperatura media di — 12°.

§ 23. — Variazioni della pressione atmosferica.

1. Cause che fanno variare la pressione atmosferica. — *L'altezza barometrica varia in uno stesso luogo col tempo e in uno stesso tempo coi luoghi.*

In un medesimo luogo la pressione atmosferica varia col tempo dipendentemente dalla *temperatura*, dall'*umidità* dell'aria, e sovratutto per i *venti*.

La pressione atmosferica diminuisce in una regione pel riscaldamento dell'aria sovrastante, ed inversamente, cresce pel raffreddamento, perchè l'aria calda si solleva e poi si riversa lateralmente, cosicchè diminuisce la massa e il peso della colonna aerea sovrastante alla regione calda, ed inversamente pel raffreddamento.

L'influenza dell'umidità, cioè del vapore acqueo che si trova nell'aria, proviene dal fatto che secondo la variabile quantità del medesimo, varia il peso dell'aria.

Infine l'influenza dei venti sulla pressione atmosferica deriva da ciò che se l'aria sovrastante ad un paese ha un movimento ascendente o discendente od orizzontale, varia la pressione che essa esercita verticalmente dall'alto in basso.

La pressione atmosferica varia poi in un medesimo tempo coi luoghi, sia per la diversa altitudine, sia per le condizioni atmosferiche diverse che regnano in un medesimo tempo in luoghi diversi.

2. Variazioni della pressione atmosferica. — Le variazioni della pressione atmosferica in uno stesso luogo col tempo si distinguono in *regolari* ed *irregolari*.

Le prime sono *diurne* od *annue*.

Le *variazioni diurne* consistono in ciò che il barometro, nei giorni calmi, presenta nelle 24 ore due massimi e due minimi; i primi verso le 10 del mattino e della sera; e i secondi verso le 4 del mattino e della sera. Però il minimo pomeridiano e il massimo antimeridiano sono più distinti degli altri due.

Le variazioni diurne sono massime e più regolari fra i tropici, ove arrivano a circa 3 *mm*; col crescere della latitudine geografica diminuiscono fino a circa $^1/_2$ *mm.*, e sono soventi mascherate dalle variazioni irregolari; di più le ore del cangiamento di pressione si spostano più o meno colle stagioni.

Non si conosce ancora la cagione di questo periodo diurno.

Le variazioni annue non sono così regolari come le diurne. In generale, nell'inverno, sui continenti domina una maggiore pressione, sui mari una pressione minore; nell'estate sui continenti regna una minore pressione, la quale è più distinta che la pressione maggiore sui mari.

Le *variazioni irregolari* sono assai diverse nei diversi luoghi, e dipendono dalle dette cause generali, cioè dalle variazioni della temperatura, dal vapore acqueo e dai venti.

3. — Chiamansi **linee isobariche** o **isobare normali** le linee passanti per tutti i punti di eguale pressione atmosferica, annuale o mensile, ed **isobare sincrone** le linee che passano pei luoghi nei quali in uno stesso istante regna la stessa altezza barometrica.

In ogni caso la pressione si intende ridotta al livello del mare.

Le carte in cui sono segnate queste linee si dicono *isobariche*.

4. Fatti generali che risultano dalle linee isobare. — Dall'esame delle isobare normali risultano i seguenti fatti generali, che appaiono pure dalle isobare mensili di gennaio e luglio.

1° All'equatore, al livello del mare, regna sempre la pressione di 760 *mm.;* di qui fino alla latitudine di 30° la pressione media cresce a 765 *mm.*, mentre da 30° fino alle regioni polari la pressione barometrica media diminuisce.

2° Nell'estate la pressione nell'interno dei continenti decresce fino a 750 *mm.*, mentre sui mari diminuisce assai poco; invece nell'inverno la pressione sui continenti cresce notevolmente fino a 770 *mm.* e più, mentre sui mari decresce più che nella state.

Le cagioni della minore pressione all'equatore sono l'elevata temperatura dell'aria, la sua grande umidità dovuta all'enorme evaporazione e alle incessanti pioggie, e le correnti ascendenti.

L'aria che si solleva si riversa poi verso il nord e il sud; essa per la espansione nelle elevate regioni si raffredda notevolmente, il suo vapore si condensa e determina le pioggie. Alla latitudine di 30° essa scende, fredda, asciutta e pesante, permodochè vi determina l'elevata pressione di 765 *mm.*

La pressione invernale crescente nell'interno dei continenti è una conseguenza del freddo che vi regna e della secchezza dell'aria, mentre il calore

estivo dei medesimi e la conseguente maggiore quantità di vapore acqueo spiegano la minore pressione che vi regna in quella stagione.

Infine la diminuzione della pressione sui mari nell'inverno è una conseguenza dei minimi che nell'inverno attraversano gli oceani in maggior numero che nella state, per cui in quest'ultima stagione la pressione sui mari è superiore a quella dei continenti.

5. Le isobare sincrone costituiscono il principale elemento delle **carte del tempo,** che vengono costrutte giornalmente dalle stazioni meteoriche centrali, per es., nell'Ufficio Centrale di Meteorologia a Roma, e servono e pronosticare il tempo. Su tali carte le isobare si presentano sovente siccome curve chiuse concentriche, sulle quali i numeri che indicano la pressione crescono o diminuiscono verso l'esterno.

Nel centro di queste curve domina un *minimo* o un *massimo* di pressione atmosferica. Un minimo quando i numeri indicanti la pressione crescono verso l'esterno; un massimo quando diminuiscono. La regione attorno ad un minimo, ove la pressione è inferiore alla media, la quale sovente abbraccia centinaia di miglia geografiche (7420 *m.*), si denomina *depressione.* I minimi non stanno fermi, ma si trasportano sovente colla velocità di 100 e più miglia al giorno, il più sovente da ovest ad est, e sono la cagione prima del tempo cattivo, dei repentini cangiamenti di direzione del vento e delle burrasche. La loro origine è ancora sconosciuta.

Un massimo è una pressione la quale decresce all'intorno. I massimi permangono ordinariamente nello stesso luogo per qualche tempo, e si trasportano lentamente. Essi portano bel tempo, freddo nell'inverno, caldo nella state. La loro produzione si può spiegare in molti casi.

§ 24. — I venti.

1. Causa dei venti. — I venti sono correnti di aria che nascono da squilibrii di pressione delle diverse parti dell'atmosfera, prodotti dalle variazioni della loro temperatura.

2. Direzione dei venti. — Nei venti si considera la *direzione* e la *velocità.*

La direzione dei venti è determinata dalla regione dell'orizzonte dalla quale il vento spira.

Si distinguono otto *direzioni principali* che sono i quattro punti cardinali,

Nord, Est, Sud, Ovest,

le quali si indicano colle lettere:

N, E, S, W (*),

e le quattro direzioni intermedie, che si indicano colle lettere:

NE SE SW NW.

che si dicono pure: *greco*, *scirocco*, *libeccio*, *maestro*.

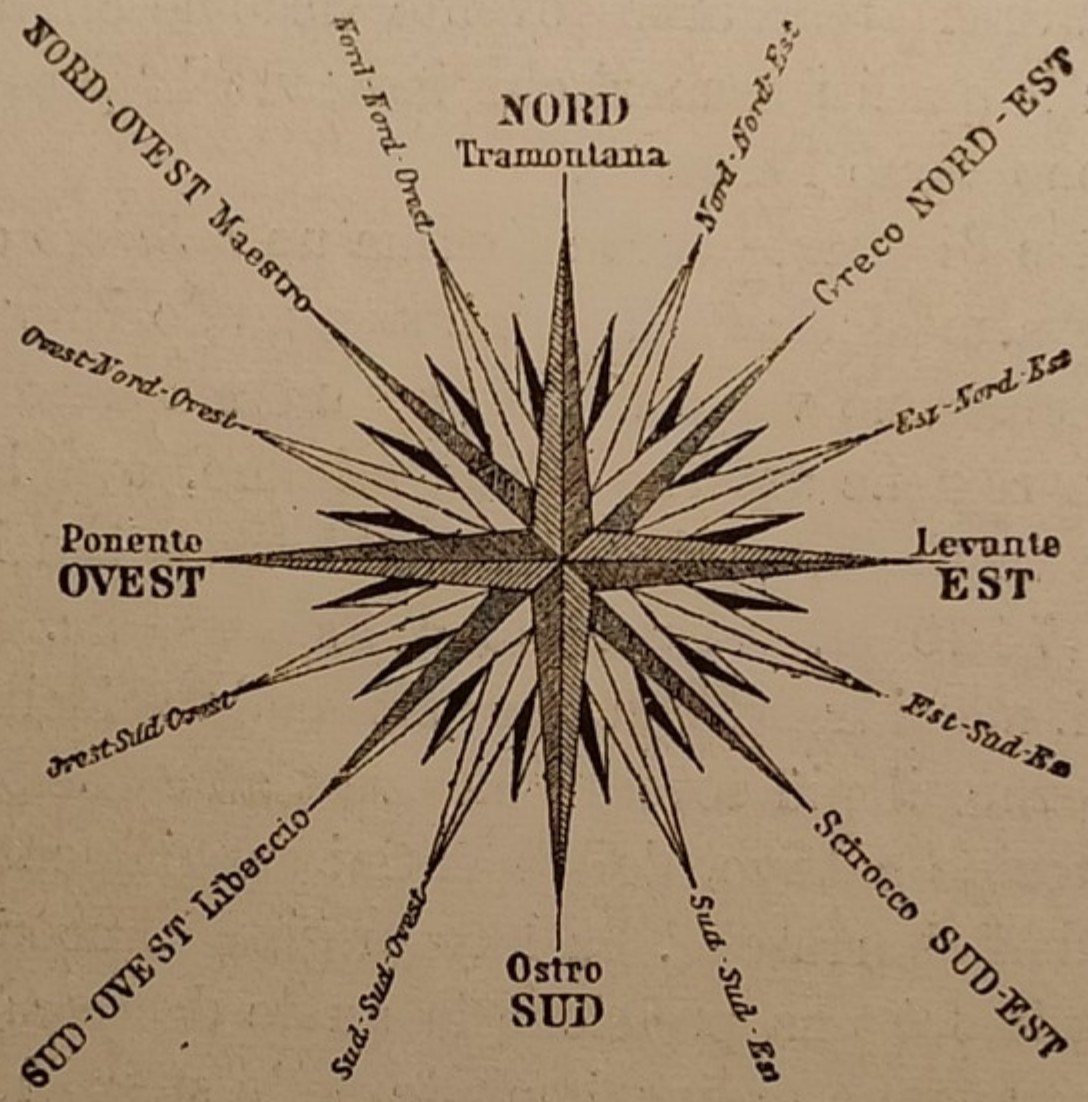


Fig. 60.

Inoltre si considerano altre otto direzioni intermedie alle precedenti le quali si indicano colle lettere

NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW, NNW.

Queste sedici direzioni, ciascuna delle quali fa colla sua vicina un angolo di 22° e $^1/_2$, costituiscono assieme la *rosa dei venti* (fig. 60).

I 4 quadranti della rosa, cominciando dal Nord e andando verso Est, si dicono rispettivamente di 1°, 2°, 3°, 4° quadrante.

(*) Conformemente alle decisioni del Congresso meteorologico internazionale di Vienna, si indica dappertutto l'Ovest colla lettera W, iniziale della parola tedesca West, che significa appunto Ovest, mentre la lettera O nella lingua tedesca indicherebbe l'Est, che si dice Ost. Perciò appunto i tedeschi usano anche la lettera O invece della lettera E per indicare l'Est.

La direzione del vento è indicata dall'*anemoscopio*, che è una banderuola metallica mobilissima attorno ad un asse verticale col suo centro di gravità su questo. Si usa mettere sull'asse della banderuola una croce rettangolare per indicare i quattro punti cardinali dell'orizzonte.

Per le regioni elevate si osserva il movimento delle nubi. Ordinariamente la direzione di questo moto è assai differente da quella del vento alla superficie della terra, principalmente quando si avvicina un temporale.

3. Velocità dei venti. — La *velocità del vento* si misura cogli *anemometri*. Quello finora più usato è l'anemometro di Robinson, che consiste in un molinello con quattro raggi orizzontali ad angolo retto, ciascuno dei quali porta una coppa metallica emisferica, colla convessità rivolta verso la cavità della successiva. L'asse verticale reca una vite perpetua, che ingrana nella ruota dentata di un contatore, il quale indica il numero dei giri del molinello.

Quando spira vento questo incontra sempre un emisfero concavo e l'altro diametralmente opposto convesso; e siccome la sua pressione sul primo è maggiore che sul secondo determina la rotazione del molinello.

Robinson dimostrò che il numero dei giri del molinello è proporzionale alla velocità del vento, qualunque sia questa; cioè che lo spazio percorso dal centro degli emisferi è una frazione costante di quello percorso dal vento. Quindi dall'uno si può ricavare l'altro.

Però questo anemometro presenta parecchi difetti e perciò oggidì si cerca di sostituirlo con altri.

La velocità del vento si esprime o in metri al secondo, o in chilometri all'ora.

Per le comunicazioni telegrafiche quotidiane fatte dall'Ufficio Centrale di Meteorologia a Roma vennero adottate le seguenti indicazioni:

Notazione	Forza	Velocità in metri al sec.
0	Calma	da 0 a 1 *m*
1	Quasi calma	» 1 » 2 »
2	Debolissimo	» 2 » 4 »
3	Debole	» 4 » 6 »
4	Moderato	» 6 » 8 »
5	Abbastanza forte	» 8 » 10 »
6	Forte	» 10 » 12 »
7	Fortissimo	» 12 » 14 »
8	Colpi di vento	» 14 » 16 »
9	Uragano	più di 16 »

La velocità dei venti è, in generale, minore alla superficie terrestre che in alto, per gli ostacoli frapposti dalla medesima, sovratutto dai monti, i quali ne mutano anche la direzione.

4. Legge della deviazione dei venti. — Il vento spira sempre dalle isobare di maggiore pressione a quelle in cui la pressione è minore; però la sua direzione non è perpendicolare alle isobare, ma devia dalla detta perpendicolare, secondo la seguente *regola di Bay-Ballot; per un osservatore che volge il dorso al vento, questo devia verso destra nell'emisfero boreale, e verso sinistra nell'australe.* La deviazione cresce con la latitudine e con la velocità dell'aria, permodochè nei violenti uragani la direzione del vento è quasi tangente alle isobare, e questo è tanto più forte quanto più vicine sono le isobare di una data differenza di pressione.

Ora, se nell'emisfero boreale il vento devia alla destra dell'osservatore che volge il dorso al medesimo, consegue che la bassa pressione invece di essere dinanzi alla sua faccia si trova verso la sua sinistra, e tanto più quanto più forte esso soffia. Il contrario avviene nell'altro emisfero.

L'esposta legge della deviazione del vento dalla direzione perpendicolare alle isobare si interpreta mediante la rotazione della terra, come vedremo nello studio dei venti alisei. Però esso vale solo pei mari e le grandi pianure, e non per i venti delle regioni montuose.

5. — Il rapporto tra la differenza di pressione fra due linee isobariche alla distanza di queste chiamasi **gradiente barometrico**.

Il dislivello barometrico si misura in millimetri, e per la distanza si prende per unità la lunghezza lineare di un grado di circolo massimo terrestre che è di $\frac{40000}{360} = 111{,}111$ chilometri.

Un gradiente di 1, 2, 3... fra due isobare indica che la pressione barometrica decresce di 1, 2, 3 *mm.* quando si percorrono 111,111 *km* nella direzione normale alle medesime.

La velocità del vento in un dato punto dipende dalla grandezza del gradiente attorno al medesimo. I venti deboli corrispondono a gradienti inferiori all'unità; quando il gradiente diviene maggiore di 4 o 5 il vento diviene tempesta.

6. Venti regolari ed irregolari. — I venti si possono distinguere in *regolari* od *irregolari*, secondochè spirano regolarmente in determinate direzioni od irregolarmente.

I venti regolari poi si distinguono in *costanti* e *periodici*, secondochè spirano continuamente ovvero solo in determinati periodi di tempo.

7. Venti costanti. — Si dicono quelli che in una data regione spirano continuamente. Tali sono i venti detti *alisei*, che spirano incessantemente nella zona torrida, e nelle parti delle temperate più vicine a questa.

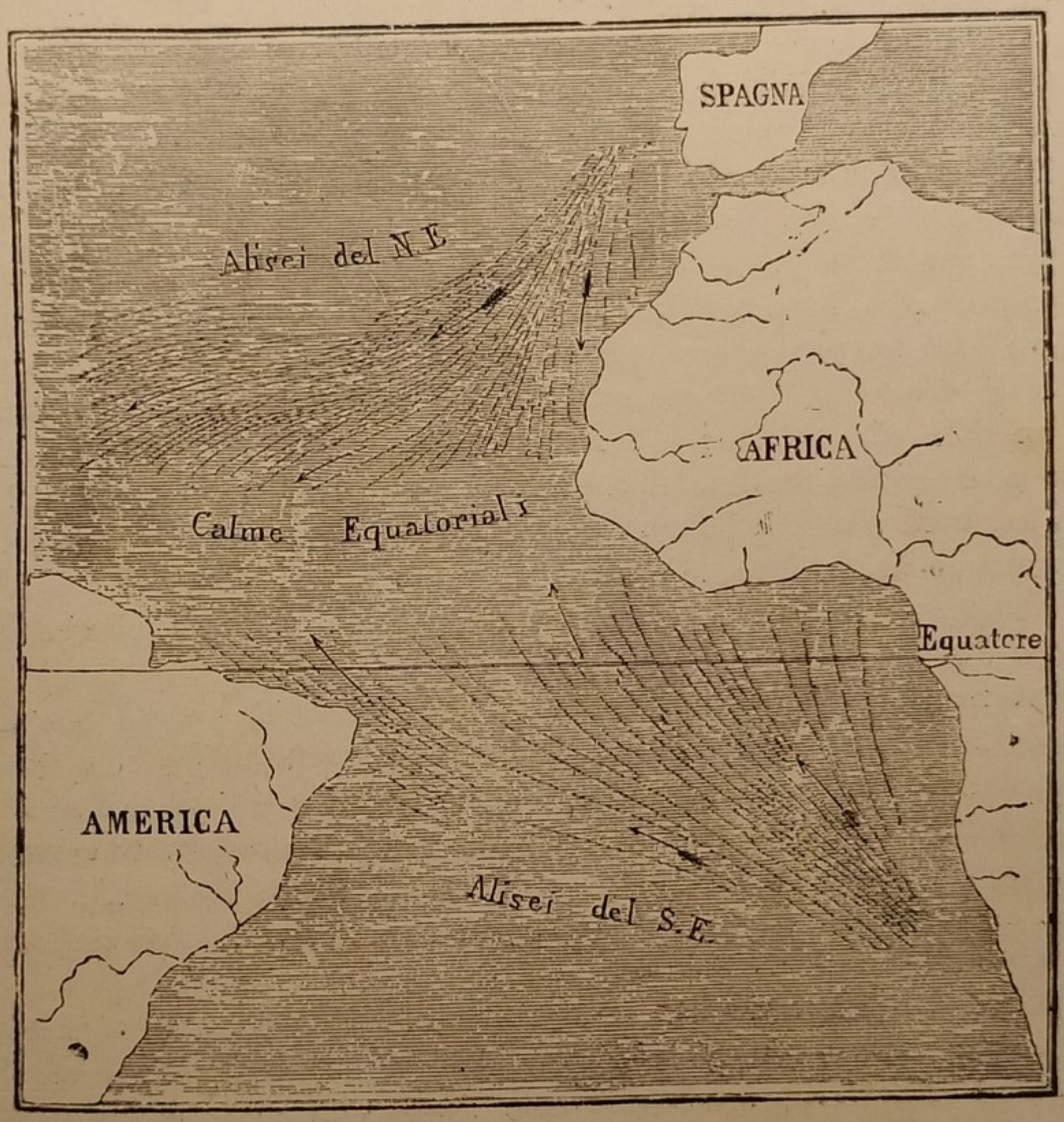


Fig. 61.

Da 10° fino a circa 30° di latitudine nord spira incessantemente, in basso, l'*aliseo inferiore* di NE, e in alto l'*aliseo superiore* di SW, e da 5° fino a circa 25° di latitudine sud, spira incessantemente l'*aliseo inferiore* di SE, e l'*aliseo superiore* di NW. Fra queste due regioni degli alisei vi è la *zona delle calme equatoriali*, la quale si sposta alquanto verso il nord e il sud, assieme col sole, e nella nostra estate arriva fino a 10° al nord dell'equatore (fig. 61).

Fra 30° e 35° circa di latitudine boreale, e fra 25° e 30° circa di latitudine australe, regnano le così dette *calme tropicali*, che risultano sovente da venti spiranti da ogni direzione dell'orizzonte.

Le zone temperate e fredde costituiscono le regioni dei venti variabili; tuttavia, vi predominano determinati venti che perciò si dicono *predominanti*. Così il vento predominante in Europa è quello di SW.

8. Causa dei venti alisei. — L'aria fortemente riscaldata nella regione equatoriale sale incessantemente, perciò ivi accorre incessantemente l'aria dalle latitudini più elevate nord e sud, fino a circa 30°. Ora se la terra non avesse il moto di rotazione, l'aria proveniente dal nord e dal sud seguirebbe esattamente la direzione dei meridiani, e quindi risulterebbero venti di nord e sud. Ma per la rotazione della terra da occidente ad oriente avviene che l'aria proveniente dal nord, a misura che avanza verso l'equatore, arriva in luoghi in cui la velocità di rotazione è maggiore, perchè nello stesso tempo (24 ore) descrivono una circonferenza di maggior raggio, e perciò rimane addietro rispetto ai medesimi, cioè passa da un meridiano ad un altro più occidentale. Pertanto l'aria che viene dal nord verso l'equatore possiede due movimenti rispetto alla superficie terrestre su cui arriva, uno dal nord a sud, e l'altro da est ad ovest; perciò per la regola del parallelogrammo dei movimenti spira come vento di *nord-est*.

Analogamente l'aria che arriva dal sud verso l'equatore spira come vento di *sud-est*.

Inversamente l'aria che si solleva nella zona torrida e si riversa poi verso il nord, avendo una velocità da occidente ad oriente maggiore di quella dei luoghi su cui arriva, passa successivamente da un meridiano ad un altro più orientale, e quindi possiede due movimenti, uno dall'equatore verso il nord e l'altro da occidente ad oriente, e perciò spira da sud-ovest.

E analogamente quella che dall'equatore si muove verso il sud, a misura che avanza spira da nord-ovest.

Perciò fino a 30° circa di latitudine nord spira incessantemente l'*aliseo inferiore* di NE, e l'*aliseo superiore* di SW, mentre fino a circa 30° di latitudine sud, spira incessantemente l'*aliseo inferiore* di SE, e l'*aliseo superiore* di NW.

Fin dal tempo di Colombo, l'*aliseo inferiore* di NE serve ai naviganti pel passaggio dalla Spagna nell'America. L'*aliseo superiore* della zona torrida è provato dal cammino dei cirri elevati, dalla direzione delle colonne di fumo dei vulcani elevati, dal trasporto delle ceneri vulcaniche verso NE, come pure dalle osservazioni fatte sulle elevate montagne. Così, mentre sul picco di Teneriffa spira l'*aliseo soperiore* di SW, al disotto, in Santa Cruz, domina il NE; sulla vetta del Mauna-Loa (4200 m.) domina il SW, mentre al disotto in Havai spira in NE.

Verso i 30° le correnti d'aria superiori divenute più fredde e asciutte, e perciò più pesanti, si abbassano e determinano la considerevole pressione

ai 765 *mm.* Una parte minore di queste correnti superiori discendenti si avanza ancora verso le latitudini più elevate, mentre una parte maggiore ritorna verso l'equatore.

Quindi sulla superficie terrestre si distinguono 4 zone rispetto ai venti: 1° La *zona delle calme equatoriali,* la quale si estende più al nord (circa 10°) che al sud del medesimo; 2° la *zona degli alisei*, la quale si estende dalla zona delle calme equatoriali fino a circa 30° di latitudine nord e sud; 3° le *zone subtropicali*, che sono comprese fra 30° e 40° di latitudine nord e sud; 4° infine le *zone dei venti variabili*, che sono al di là di 40° di latitudine nord e sud.

9. Venti periodici. — Si dicono quelli che spirano in determinate ore del giorno, o stagioni, e cangiano direzione con le medesime. Tali sono le *brezze*, o venti delle spiaggie marine, che di giorno spirano dal mare verso la terra, e di notte dalla terra verso il mare; e i *monsoni* (*) che spirano nell'Oceano indiano e sulle sue spiaggie settentrionali, nell'estate in direzione SW, e nell'inverno in direzione NE.

Fra i monti spirano pure venti periodici diurni e notturni. Al mattino l'aria sale dalla valle verso i monti riscaldati dal sole, mentre nella notte l'aria scende dalle cime verso la valle meno fredda.

10. Causa delle brezze. — Per il grande calore specifico e minimo potere assorbente dell'acqua, nel giorno la terra si riscalda più che il mare, e perciò l'aria sovrastante alla terra diviene specificamente più leggiera di quella sovrastante al mare; la prima si solleva e la seconda accorre ad occuparne il posto; d'onde la brezza diurna del mare verso terra. Siccome l'aria sollevatasi si espande poi e discende lateralmente verso il mare, così abbiamo pure qui, come in tutti i movimenti permanenti dell'aria, una circolazione della medesima.

Nella notte la terra si raffredda più del mare, perciò l'aria sovrastante alla medesima si condensa più di quella sovrastante al mare, acquista un moto discendente per cui aumenta di pressione, ed accorre in parte verso il mare (brezza di terra), ove è maggiore la temperatura e minore la pressione.

11. Venti irregolari locali. — Sono quelli che spirano in tempi indeterminati, ma con determinati caratteri negli stessi luoghi, siccome il vento caldo e asciutto, denominato *foehn* nella Svizzera, *scirocco* in Italia; il *vento boreale* assiderante dei mari orientali dell'Europa; i *venti sabbiosi e caldi dei deserti*, denominati *samum*, *chamsin*, *harmattam*, ecc.

(*) Da *mansim*, parola araba che significa *stagione*.

12. Cicloni e anticicloni. — Le carte delle linee isobare, che si costituiscono ogni giorno negli osservatorii meteorici centrali, manifestano soventi l'esistenza di centri di minima e massima pressione atmosferica attorno ai quali le curve isobare indicano pressioni crescenti o decrescenti. Queste curve, in generale, non sono circolari, ma irregolarmente ellittiche.

Attorno ad un *minimo* l'aria accorre da ogni parte verso l'interno, dalle isobare di maggiore a quelle di minore pressione, però non perpendicolarmente alla direzione delle medesime, ma, nell'emisfero nord, per la deviazione del vento alla destra, esso

Fig. 62.

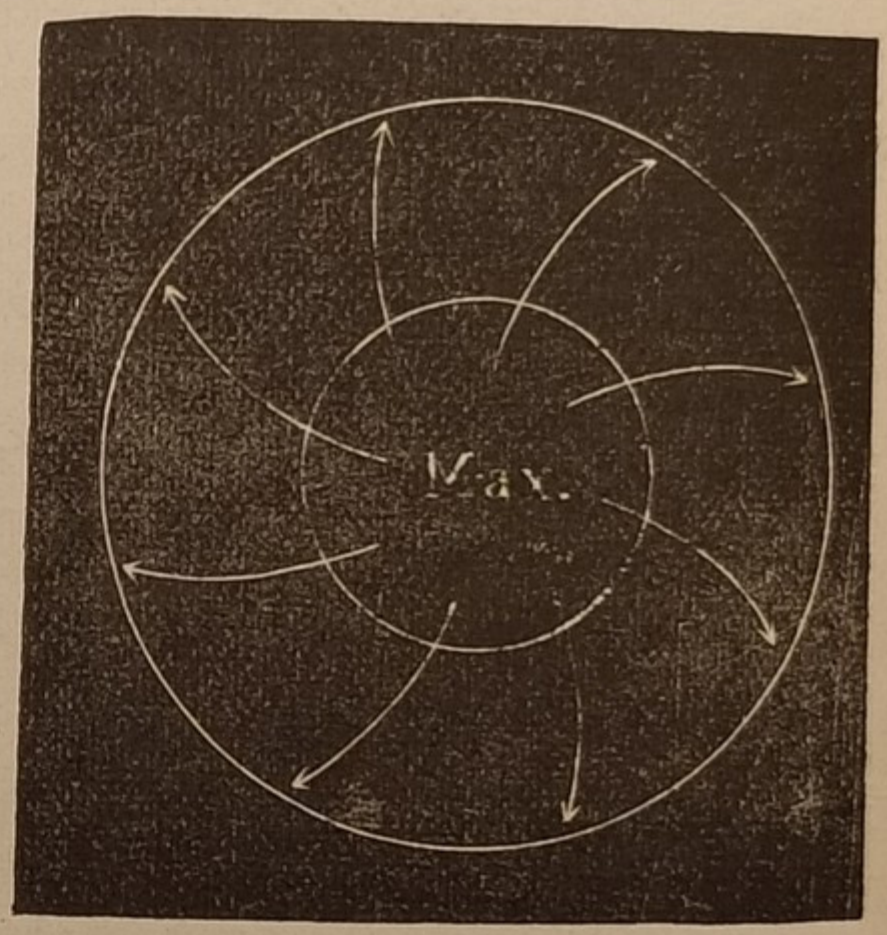


Fig. 63.

spira secondo curve spirali, in senso contrario al movimento delle lancette di un orologio (fig. 62).

Attorno ad un *massimo*, l'aria fugge in ogni direzione verso l'esterno, non perpendicolarmente alle isobare, ma, nell'emisfero nord, per la deviazione del vento alla destra, questo spira in curve spirali, nel senso del movimento delle lancette dell'orologio (fig. 63).

Nell'emisfero sud, per la deviazione del vento verso sinistra, i due movimenti spirali sono invertiti.

Il movimento vorticoso dell'aria attorno ad un *minimo* di pressione atmosferica denominasi *ciclone*, e quello esistente attorno ad un *massimo: anticiclone*.

La velocità e deviazione del vento è tanto maggiore, quanto più vicine sono le isobare e maggiori le loro differenze di pressione.

L'aria che affluisce verso il centro di un ciclone sale poi ivi verticalmente, e viceversa nel centro di un anticiclone vi è una corrente d'aria che discende per sostituire quella che effluisce verso l'esterno. Perciò nel centro di un ciclone l'aria ha solo un movimento ascendente e non orizzontale, mentre nel centro di un anticiclone ha solo un moto discendente. E siccome i movimenti ascendenti e discendenti dell'aria non costituiscono vento, il quale è solo dovuto ai movimenti orizzontali della medesima, perciò nei detti centri vi è *calma di vento*.

In un ciclone il vapore acqueo sollevato dalla corrente ascendente centrale si condensa a una certa altezza, sviluppa il calore di condensazione, e diradando perciò l'aria, produce un nuovo impulso ascendente che accresce la velocità della corrente stessa. Tale condensazione si manifesta con abbondante produzione di nubi e pioggie sopra l'area ciclonica, la quale perciò è, in generale, un'area di brutto tempo. Queste nubi e pioggie, che sono effetto e non causa del moto ciclonico, contribuiscono a mantenerlo. Invece, nel centro di un anticiclone, l'aria discendendo diviene più asciutta e più calda, e perciò gli anticicloni portano tempo sereno e asciutto.

Così la proprietà fondamentale dei massimi e minimi barometrici, come apportatori del bello e brutto tempo, si spiega pel diverso effetto che produce sulla condensazione del vapore acqueo, una corrente ascendente o discendente.

Nei mari della Cina, del Giappone, ecc. chiamansi *tifoni* i movimenti vorticosi dell'aria che hanno dimensioni minori dei cicloni, ma ancora maggior violenza di questi.

Le *trombe terrestri e marine* sono anche movimenti vorticosi dell'aria ma con piccole dimensioni.

13. Annunzi delle tempeste. — I cicloni non stanno fermi, ma si traslocano con velocità e secondo traiettorie, il più soventi conosciute; quindi, se un ciclone è segnalato sopra una di queste traiettorie, può, mediante il telegrafo, essere annunziato con probabilità il suo arrivo nei paesi percorsi dal medesimo.

Soventi i cicloni che toccano o attraversano l'Europa partono dall'America. Però non tutti i cicloni partiti dall'America arrivano in Europa, sia perchè talvolta deviano troppo verso il nord-est, al di sopra delle latitudini europee, sia perchè talvolta attraversando l'Oceano si dileguano.

Tuttavia può soventi essere annunziato dall'America all'Europa l'arrivo di un ciclone perchè essi tengono sull'Oceano un cammino sensibilmente diretto da ovest ad est, e arrivano in Europa impiegando da 4 a 12 giorni. Però, siccome molti cicloni che partono dall'America deviano troppo verso il nord, altri muoiono per via, e altri ancora nascono nell'Oceano, i quali naturalmente sfuggono alla previsione americana, perciò non tutte le previsioni si avverano, e non tutti i cicloni possono essere preannunziati.

§ 25. Idrometeore.

1. — Si dicono **idrometeore** i fenomeni che nascono dalla condensazione del vapore acqueo contenuto nell'aria, siccome le nubi, le nebbie, la rugiada, la brina, la pioggia, la neve e la grandine. Esse si producono quando la temperatura dell'aria scende al disotto del *punto di rugiada;* allora in essa viene a trovarsi una quantità di vapore maggiore di quella che può contenere alla temperatura che vi regna, e perciò l'eccesso si condensa allo stato liquido o solido. Le prime due si dicono ancora *idrometeore di condensazione*, e le altre di *precipitazione.*

2. Nubi e nebbie. — Il vapore acqueo dell'atmosfera è trasparente ed invisibile come l'aria, finchè non è condensato, ma diviene opaco e visibile quando diventa sovrasaturo e si condensa in minute goccioline di acqua. Allora esso costituisce le nubi e le nebbie, che sono ammassi di vapore acqueo condensato in minutissime goccioline, nuotanti nell'aria a guisa della polvere.

Le nubi sono nebbie nei superiori strati aerei, e le nebbie sono nubi giacenti sul terreno; i viaggiatori di montagna sulle vette dei monti sono avvolti nelle nebbie, che per gli abitanti della pianura sono nubi.

Le nubi più elevate si ammettono costituite da cristallini di ghiaccio, sia pel freddo che regna in alto, sia per la loro trasparenza.

La sospensione delle nubi nell'aria è dovuta alla grande resistenza che incontrano nel cadere in essa, perchè tale resistenza cresce col crescere della superficie dei corpi, e quanto più un corpo è diviso in frammenti tanto maggiore è la sua superficie.

Le nebbie risultano: 1° quando l'aria umida spira su regioni

fredde della superficie terrestre; 2° quando dalla superficie dell'acqua o della terra umida si sollevano vapori nell'aria più fredda.

Nel 1° modo si formano nei nostri paesi le nebbie nella stagione invernale, le quali perciò attestano tempo umido; e così pure nasce la nebbia che appare attorno al ghiaccio quando nella state l'aria calda viene in contatto col medesimo; per la stessa ragione i ghiacciai sono soventi circondati da nebbia.

Nel 2° modo si formano le nebbie sulle acque e sui terreni umidi, nell'autunno e nell'inverno, come pure alla sera, e sopra le pentole ove l'acqua bolle, e avanti alla nostra bocca nella stagione fredda e umida, per la condensazione del vapore acqueo che noi espiriamo.

Le nubi si formano: 1° pel sollevamento dell'aria riscaldata dal suolo, e la condensazione del suo vapore acqueo a misura che sale nelle ragioni elevate più fredde.

2° Pel raffreddamento delle correnti aeree che dalla zona torrida giungono in quelle temperate e polari.

3° Per la mescolanza di due correnti aeree, per es. dei venti di nord-est con quelli di sud-ovest, perchè la tensione corrispondente alla temperatura media della mescolanza è minore della media delle tensioni primitive, poichè la tensione dei vapori saturi cresce e diminuisce più rapidamente della temperatura. Perciò per la mescolanza di due masse aeree anche non sature, può avvenire soprasaturazione, e quindi condensazione.

Nella zona torrida le nubi risultano esclusivamente per ascensione; esse si accumulano sempre più e determinano così temporali quotidiani. Anche nelle nostre regioni risultano frequentemente le nubi per ascensione, sovratutto nella stagione calda, in cui determinano i temporali pomeridiani. Nei giorni meno umidi le dette nubi ridiscendono nell'aria più calda, ove soventi si dissolvono per rievaporazione, e spariscono.

3. Diverse forme delle nubi. — Howard (1802) ha distinto 3 forme principali nelle nubi, i *cirri*, i *cumuli* e gli *strati*.

I *cirri* (disegnati a destra in alto nella fig. 64 e distinti con due uccelli), dai marinai detti *code di gatto*, sono piccole nubi bianche, composte di filamenti leggeri, rassomiglianti a barbe di penna, o fiocchi di lana, o di cotone, tenui, alquanto diafani, che precedono soventi i cangiamenti del tempo; sono le nubi più

elevate, perchè sulle montagne presentano lo stesso aspetto che nelle valli. La loro altezza è almeno 8 *km*.

Siccome a tale altezza la temperatura dell'aria è assai inferiore a 0°, perciò essi debbono essere costituiti da cristallini di ghiaccio. Infatti, le osservazioni fatte da Tissandier nelle sue ascensioni aerostatiche l'hanno condotto ad accertare che la pre-

Fig. 64.

senza di cristallini di ghiaccio è frequentissima nell'atmosfera, e che essi possono perfino esistere nelle elevate regioni senza che la limpidità del cielo sia alterata, cioè senza costituire cirri apparenti. Alcuni attribuiscono ad essi la causa della neve e della grandine.

I cirri hanno origine principalmente dalle correnti aeree degli alisei superiori, i cui vapori si condensano a misura che giungono nelle latitudini elevate.

I *cumuli*, o *palle di cotone* dei marinai (disegnati nella fig. 64 a destra, sotto i cirri, e indicati con tre uccelli) sono nubi

rotondeggianti e ordinariamente bianche in alto, mentre alla loro base, colla quale si riuniscono fra loro, sono più o meno piane, sfumate, e di colore oscuro. Esse nascono dalla condensazione del vapore acqueo portato in alto dalle correnti ascendenti, e sono perciò le nubi le più frequenti nelle regioni tropicali, e nella stagione estiva delle zone temperate, mentre d'inverno non si veggono nelle latitudini elevate. La loro base indica lo strato d'aria in cui le dette correnti raggiungono il punto di rugiada, e secondochè quelle crescono o diminuiscono, esse salgono o scendono.

Quando queste nubi formatesi nel mattino, invece di dissiparsi poco a poco, divengono più numerose nella giornata, e sono sormontate da cirri, è da attendersi il temporale.

Gli *strati* sono nubi a striscie orizzontali più o meno lunghe, che si veggono soventi all'orizzonte, in distanza, al tramontare del sole (sono rappresentate nella fig. 64 a destra sotto i cumuli, e distinte con un uccello). La loro forma stratificata è un effetto di prospettiva, cioè sono strati di nubi che si veggono di taglio per essere all'orizzonte.

Alcuni distinguono ancora col nome di *nembi* degli ammassi di cumuli di colore grigio cupo, soventi lacerati e sfumati nel loro contorno (disegnati a sinistra nella fig. 64 e distinti con quattro uccelli), i quali discendono assai in basso e sono apportatori di procelle.

La grandezza dell'annuvolamento si indica con numeri da 0 a 10, in modo che 0 indica un cielo senza nubi, 10 un cielo interamente coperto, 5 un cielo coperto per metà, supposte le nubi riunite assieme.

4. La pioggia e i temporali. — Quando la condensazione dei vapori è così abbondante che le goccioline delle nubi divengono grosse e pesanti, allora esse cadono e risulta la pioggia. Perciò la quantità e durata della medesima è determinata dalle cause che producono abbondante condensazione.

La prima di queste sono le correnti ascendenti di aria calda e umida che nella zona torrida quasi ogni giorno, e anche nelle nostre latitudini, nella state, soventi hanno luogo.

La seconda causa sono i venti caldi e umidi; in generale piove soventi, ove spirano venti caldi dal mare sulle terre e sovratutto sulle montagne; la pioggia è più abbondante sul fianco della montagna esposto al vento. Venti caldi e umidi sono quelli di

sud e sud-ovest. Questi perciò recano la pioggia. Invece i venti di nord, nord-est, che giungono a noi passando sopra continenti e arrivano nelle nostre latitudini meno fredde, sono in generale asciutti, e portano bel tempo.

5. Udometro. — La *quantità annuale della pioggia* che cade nei diversi luoghi è assai importante a conoscersi in meteorologia, e la si misura con stromenti detti *udometri* o *pluviometri*.

L'udometro più comune consiste in un vaso cilindrico (B, B, fig. 65) di metallo, terminato inferiormente ad imbuto con chiavetta, e chiuso superiormente da un coperchio (A, A) pure ad imbuto, con un foro inferiore centrale per cui l'acqua si accumula nel recipiente sottostante, ove la sua evaporazione è impedita dal coperchio.

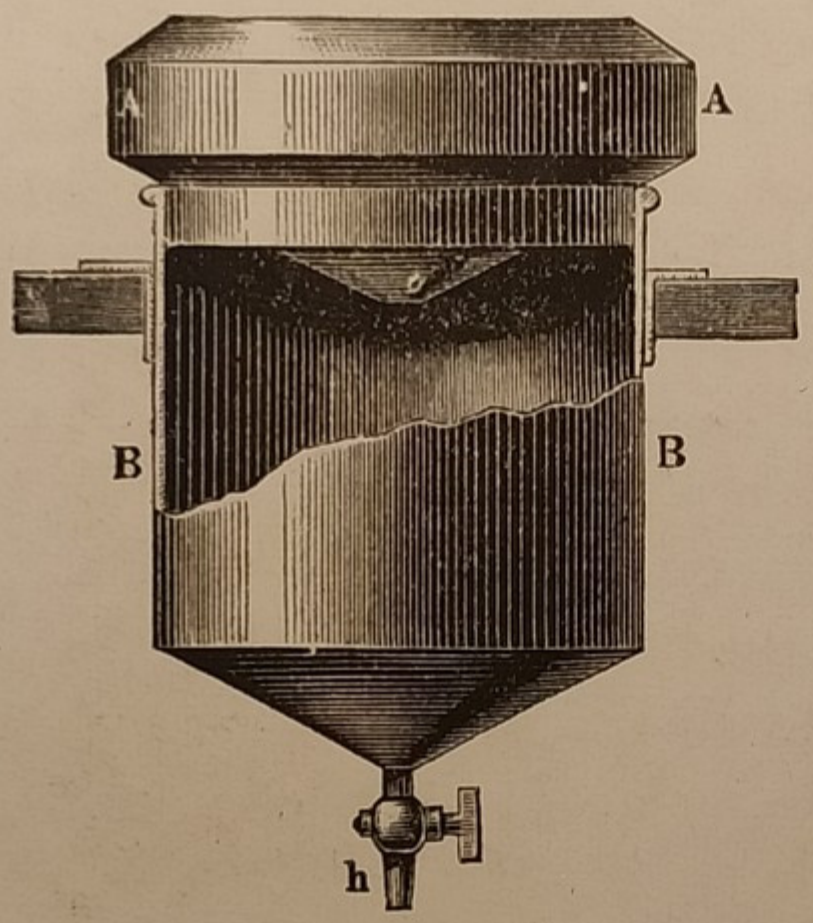


Fig. 65.

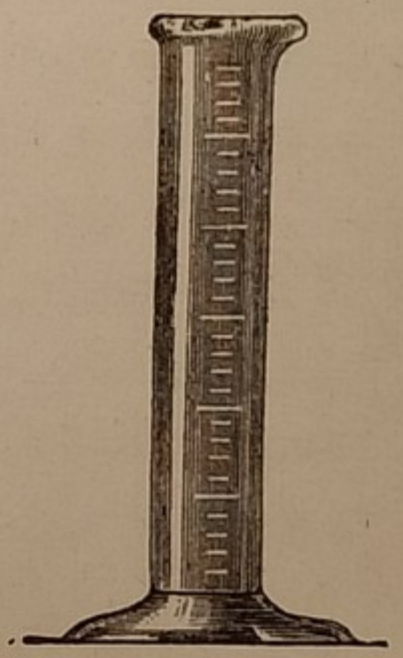


Fig. 66.

L'*altezza dell'acqua caduta* nelle 24 ore si misura in centimetri o mediante un indicatore del livello di cui è munito lateralmente il pluviometro, o mediante una provetta graduata (fig. 66) in cui si versa l'acqua caduta.

Conoscendo il rapporto fra la sezione di questa e quella del pluviometro, dall'altezza in *mm.* dell'acqua nella medesima si deduce quella caduta nello stromento.

Il *pluviometro deve essere collocato* in luogo scoperto, lungi dai muri elevati, e ad un'altezza di circa *m.* 1,50 dal suolo, perchè si è riconosciuto che collocato su edifizî elevati esso raccoglie generalmente una quantità minore di acqua.

Per confrontare la quantità dell'acqua cadente nelle diverse regioni, si considera anche quella proveniente dalla fusione della neve che si misura parimenti col pluviometro.

6. Distribuzione della pioggia sulla superficie terrestre. — La quantità annuale della pioggia dipende dapprima dalla latitudine; essa è massima fra i tropici, ove è in media di 500 *cm.*, mentre nel nord-est dell'Europa arriva solo in media a 60 *cm.*

Quindi hanno la massima influenza sulla pioggia i venti, e la distanza dalle spiagge. Ove regna sempre il NE, a grande distanza dal mare, come

nel Sahara, non cade quasi mai pioggia; e così pure ove il vento predominante spira verso il mare, come nel Perù e nel Chilì, ove spira l'aliseo di SE verso il mare, cosicchè malgrado la vicinanza di questo, non piove quasi mai. Ma ove il vento predominante spira dal mare, cade molta pioggia, specialmente dove esso incontra elevate montagne. Così sui fianchi meridionali dell'Himalaja cade annualmente la massima quantità di pioggia che arriva a 1430 *cm.*

A parità delle altre condizioni la quantità annuale della pioggia decresce col crescere della distanza dalle spiaggie. Così la Gran Bretagna ha in media 150 *cm.* di pioggia all'anno, la Germania 50, la Russia 40, la Siberia 30.

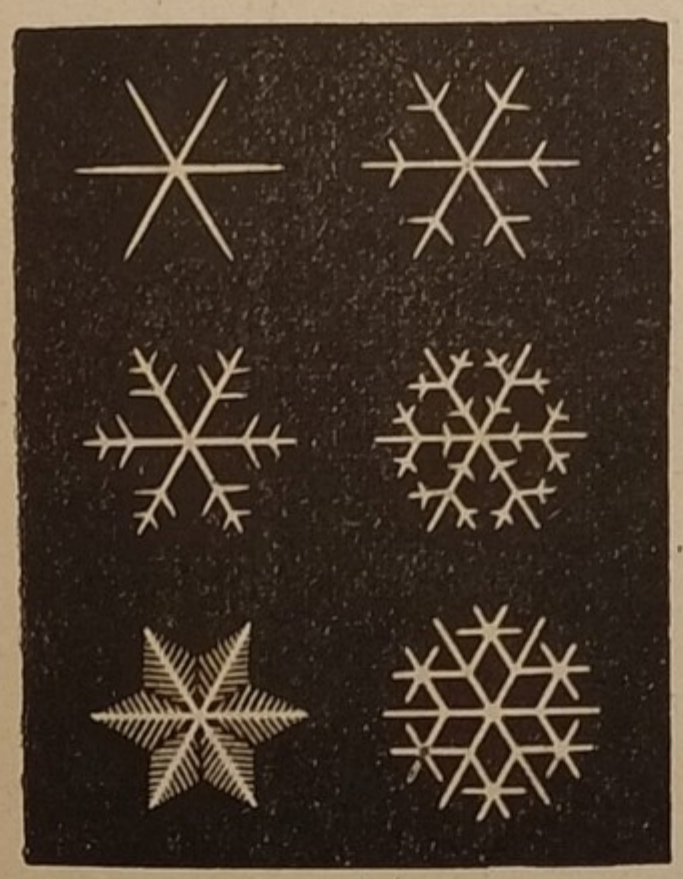


Fig. 67.

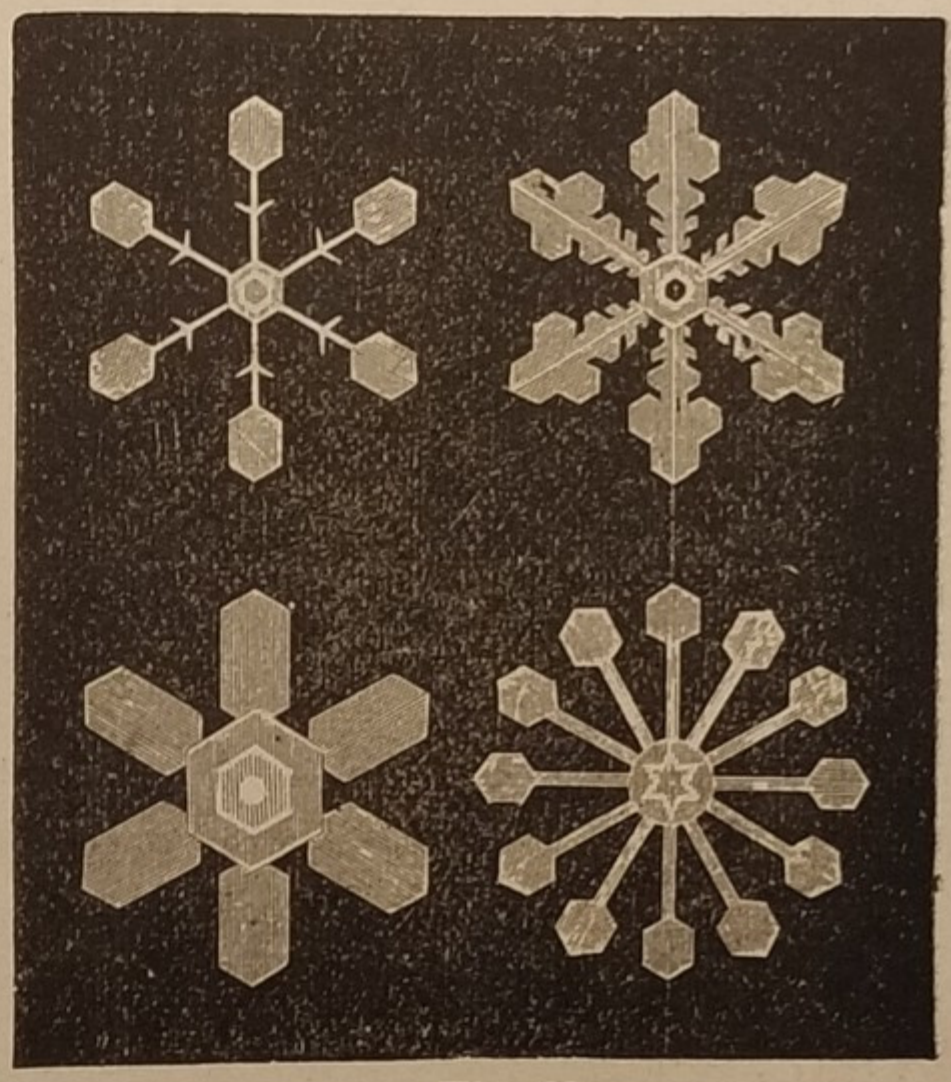


Fig. 68.

7. Neve e nevischio. — Quando la condensazione del vapore acqueo avviene a temperatura inferiore a 0°, invece delle goccioline si formano fini cristalli esagoni di ghiaccio (sistema esagonale del cristallo di rocca), che si riuniscono in stellette di varie forme (fig. 67 e 68) ma quasi tutte a sei raggi. Ciascun fiocco di neve consta di un gruppo di tali stellette.

Il loro colore bianco e l'opacità dipendono dalle molteplici riflessioni esterne e interne che la luce subisce in tali cristalli.

Si distinguono bene le dette forme, anche ad occhio nudo, ricevendo i fiocchi su una superficie nera, a temperatura inferiore a 0°.

La regolarità di queste forme dipende sovratutto dalla tranquillità dell'aria; quando questa è molto agitata, la cristallizzazione regolare sparisce più o meno completamente, e i cristalli si riuniscono in modo da formare grani di neve che costituiscono il *nevischio*.

Anche il ghiaccio consta di tali forme cristalline a sei raggi, che Tyndall denominò *fiori del ghiaccio*.

8. Grandine. — Nelle nubi temporalesche, sotto l'influenza delle scariche elettriche, l'acqua si solidifica in globetti di ghiaccio che costituiscono i grani di grandine, o *chicchi*. Questi sono ordinariamente formati da un nucleo opaco, alquanto spugnoso, ricoperto da parecchi strati concentrici sovrapposti, soventi alternativamente trasparenti e opachi.

La grandezza dei chicchi di grandine varia da quella di un grano di pisello a quello di un uovo di gallina e anche più.

La loro forma è ordinariamente rotonda, ma talvolta è appiattita, od angolare.

La loro temperatura, secondo Pouillet, varia da — 0°, 5 a — 4°.

La grandine precede ordinariamente i rovesci di pioggia o li accompagna.

Essa cade quasi esclusivamente nelle zone temperate, e nei giorni caldi della stagione estiva, e quasi mai nella notte. Però, sulle coste della Norvegia la grandine cade anche nell'inverno, coi venti di nord-est.

Le nubi grandinose sono riconoscibili al loro colore grigio rossastro, nuotano il più spesso assai basso, e cagionano una sorprendente oscurità. Le caduta della grandine si preannunzia con un cupo rumoreggiare, ed è sempre da elettrici fenomeni accompagnata; essa suole durar solo pochi minuti, e stendere la sua devastatrice potenza con procellosa furia sopra una stretta e lunga striscia di terra.

9. Rugiada. — In ogni notte serena si depositano sulla superficie dei corpi, sovratutto sui vegetali, goccie d'acqua, il che costituisce il fenomeno detto *rugiada*.

Esso venne dapprima (1814) interpretato dal Wells osservando che nelle notti serene e tranquille i corpi collocati sulla superficie della terra irradiano calore negli spazi celesti, divengono più freddi dell'aria, e determinano il vapore acqueo degli inferiori strati aerei a condensarsi in goccie sui medesimi, siccome avviene nella state su un bicchiere d'acqua fresca.

Contro questa teoria, la cui semplicità la fece prevalere in Italia e fuori per lungo tempo, insorse dapprima (1831) da noi il Fusinieri, il quale osservando che la rugiada è più copiosa sulla

pagina inferiore che sulla superiore delle foglie, e su le erbe ed arbusti più che sugli alberi elevati e sulla faccia interna più che sulla esterna di una campana di vetro posta sul terreno, concluse essere più razionale l'ipotesi di Gersten che *la rugiada provenga dalla condensazione del vapore che nella notte si solleva dal suolo anzichè di quello preesistente nell'aria.*

Il che venne poi confermato da Aitken il quale pesando accuratamente una zolla di terreno prima e dopo ogni esposizione notturna, trovò sempre una diminuzione di peso, indizio evidente che la perdita per evaporazione superava il guadagno per precipitazione. Egli dimostrò che, contrariamente all'opinione comune, la rugiada si produce copiosa anche sulle strade, e che le differenze presentate dalle diverse specie di vegetali rispetto alla rugiada, oltrechè dalla irradiazione e condensazione, dipendono da una vera *traspirazione* delle piante. A simili conclusioni vennero il Chistoni nel 1879, e il Russel nel 1891.

Col cielo nuvoloso non si ha rugiada, perchè le nubi, a guisa di un mantello, impediscono la dispersione dei raggi calorifici negli spazi planetari, come pure l'evaporazione ed il raffreddamento del suolo; perciò ancora non cade rugiada sotto una tenda od una tettoia. Nel tempo ventoso manca pure la rugiada perchè il vento disperde il vapore acqueo.

10. — La **brina** non è altro che rugiada congelata la quale si forma quando la temperatura discende sotto lo zero.

La calma atmosferica e la libera radiazione verso il cielo sono le due condizioni più favorevoli alla produzione sia della rugiada che della brina.

Si ha più facilmente la brina con un'aria secca che con un'aria umida, perchè nel primo caso il punto di rugiada è più basso che nel secondo, ed è maggiore l'evaporazione e il raffreddamento del suolo.

Perciò, sulle coste, ove l'aria è più umida, le brine sono meno frequenti che nell'interno delle terre.

Si evita la brina producendo fumo mediante la combustione della paglia, delle fòglie, ecc.

La brina non deve confondersi coi depositi di ghiaccio che si formano sulle piante col tempo freddo e nebbioso.

Capitolo III.

ENERGIA RAGGIANTE

§ 26. Sorgenti e natura della luce.

1. Luce. — Poichè nel buio noi non vediamo i corpi si deve concludere che per la visione dei medesimi non basta la loro presenza, ma si richiede ancora l'azione di una causa speciale.

La causa che ci rende visibili i corpi chiamasi *luce*, e la parte della Fisica che tratta della luce denominasi *Ottica*.

2. Corpi luminosi ed illuminati. — La luce che un corpo manda all'occhio può essere luce propria, cioè generata dal corpo stesso, e allora lo si dice *luminoso*, o sorgente di luce. Tali sono il sole, le stelle fisse, che sono altrettanti soli, le fiamme, ed in generale i corpi ad elevata temperatura.

Invece, la maggior parte dei corpi terrestri alla temperatura ordinaria, come pure i pianeti, la luna, ecc., sono solo visibili in grazia della luce che ricevono dai corpi luminosi e che essi rimandano indietro più o meno modificata. Questi si dicono *illuminati*.

3. Sorgenti di luce. — La sorgente principale di luce per la terra è il sole, che è pure la sorgente diretta od indiretta di tutte le altre energie o attività terrestri, cioè del calore, dell'elettricità, della vita vegetale e animale.

Secondo Draper tutti i corpi divengono luminosi e quindi sorgenti di luce quando vengono riscaldati al di sopra di 525°;

a questa temperatura cominciano ad emettere luce rossa, cioè divengono *roventi*, e a misura che cresce la loro temperatura aumenta il loro splendore, finchè divengono *incandescenti*, cioè acquistano il *candore* della luce bianca, quando la loro temperatura supera i 1000°. Però secondo esperienze più recenti la temperatura alla quale i corpi cominciano ad emettere luce visibile nel buio è di circa 400° e varia alquanto colla natura dei corpi e colla preparazione dell'occhio alla percezione.

Le *sorgenti artificiali di luce più intense* sono :

1° *La luce elettrica*, che si ottiene facendo passare una forte corrente elettrica fra due punte di carbone.

2° *La luce magnesiaca*, che risulta abbruciando nell'aria un nastrino del metallo magnesio.

3° *La luce del fosforo* bruciante nell'ossigeno puro.

4° *La luce Drummond*, la quale risulta dall'incandescenza che acquista un pezzo di calce quando è collocato nella fiamma ossidrica.

4. Ipotesi intorno alla natura della luce. — A chi cerca di spiegarsi il modo con cui una fiamma produce impressione a distanza nell'occhio si presenta dapprima l'idea che dalla medesima partano continuamente tenuissime particelle di materia, le quali entrando nell'occhio producano la sensazione luminosa. È con questa ipotesi, detta dell'*emissione* o delle *emanazioni*, che la maggior parte degli antichi filosofi, fino a Newton (1692), che ne fu pure partigiano, cercarono di interpretare i fenomeni luminosi; ma oggidì essa dovette cedere il posto a un'altra ipotesi detta delle *ondulazioni*, proposta fin dai tempi di Newton, cioè nel 1690, da Huyghens, insigne matematico olandese, nella quale si ammette: che esiste in tutto l'universo, tanto negli spazi interstellari quanto negli spazi intermolecolari, una materia imponderabile, detta *etere*, composta di particelle tenuissime, capaci di vibrare rapidissimamente, e che negli atomi dei corpi luminosi esiste un moto vibratorio rapidissimo, il quale comunicandosi all'etere ambiente genera in questo delle onde, che scuotendo i nostri nervi ottici destano in noi l'impressione luminosa, a quel modo che le particelle dei corpi sonori vibrando generano nell'aria le onde sonore, le quali scuotono i nervi acustici.

La luce, essendo quindi dovuta ad un movimento vibratorio dell'etere, corrisponde ad una forma di energia che chiamasi *energia raggiante*.

§ 27. Propagazione della luce.

1. Propagazione della luce in ogni direzione. — Noi vediamo i corpi luminosi da ogni parte attorno ai medesimi; quindi dobbiamo concludere che *la luce si propaga in ogni direzione attorno ai corpi luminosi.*

Ciò è una conseguenza dell'essere la luce un moto ondulatorio, e della propagazione dei moti ondulatorii in ogni senso attorno al centro di scuotimento, siccome avviene pel suono.

2. Raggio e fascio luminoso. — Ogni linea lungo la quale si propaga la luce chiamasi *raggio luminoso*, come ogni linea lungo la quale si propaga il suono dicesi raggio sonoro.

Per interpretare i fenomeni luminosi devesi ammettere che le vibrazioni dell'etere costituenti i raggi di luce siano *trasversali* e non *longitudinali*, cioè si compiano perpendicolarmente alla direzione dei raggi e non nella direzione di questi, siccome le vibrazioni costituenti i raggi sonori. Nei raggi di luce ordinaria tali vibrazioni avvengono in tutti i piani passanti pei raggi stessi; ma in certi casi tali vibrazioni si compiono nello stesso piano, e allora risulta luce con proprietà particolari, che dicesi *polarizzata*.

Un insieme di raggi luminosi chiamasi *fascio luminoso*, e si distingue in *parallelo*, *convergente* e *divergente*, secondochè i raggi che lo costituiscono sono paralleli fra loro, ovvero convergenti o divergenti.

Per es., i raggi solari che partono da ciascun punto del sole e che entrano in una camera si possono considerare come paralleli, perchè la distanza del sole è così grande (circa 149 milioni di chilom.) che il loro angolo è inapprezzabile. Invece, se si fanno passare i raggi solari per una lente convergente essa li fa convergere verso un punto che è detto *foco*, perchè ivi la luce e

il calore sono concentrati in modo che si possono accendere corpi combustibili. Ora, prima del foco i raggi formano un fascio conico convergente, e al di là del medesimo formano un fascio conico divergente.

3. Propagazione rettilinea della luce. — Se fra un corpo luminoso e l'occhio si interpone un corpo che intercetti la luce, p. es. un quaderno di carta, non vediamo più il corpo luminoso.

Ciò prova che *la luce si propaga secondo linee rette*, perchè se si propagasse secondo linee curve qualche raggio potrebbe entrare nell'occhio passando lateralmente al corpo interposto.

La stessa cosa è provata dal fatto che noi non vediamo i corpi lungo un tubo che non sia diritto, e che quando i raggi solari entrano nelle camere per piccole fenditure si vede il pulviscolo atmosferico illuminato secondo linee rette.

Però la propagazione rettilinea della luce avviene solo finchè il corpo, o mezzo, in cui essa si propaga, è omogeneo, cioè ha dappertutto la stessa struttura e densità, perchè quando la luce passa obliquamente da un mezzo in un altro, p. es. dall'aria nell'acqua, allora i raggi cangiano direzione, cioè si piegano, il quale fenomeno dicesi *rifrazione della luce*.

4. Corpi trasparenti, pellucidi e opachi. — La luce che arriva sulla terra dal sole si propaga per l'etere che vi è negli spazi celesti, e quella che attraversa i corpi si propaga per l'etere interposto fra le molecole, poichè queste non sono in contatto.

Ma vi sono corpi che lasciano passare abbondantemente la luce, come l'aria, il vetro, ecc., e questi si dicono *trasparenti*, mentre altri, come i metalli, il legno, ecc., la intercettano anche con piccola grossezza o spessore, e questi diconsi *opachi*.

Però la trasparenza e l'opacità sono proprietà relative, perchè anche i corpi trasparenti non lasciano passare completamente la luce, e i corpi opachi possono divenire alquanto trasparenti quando sieno abbastanza assottigliati. Per es. l'oro, che è il metallo più denso dopo il platino e l'iridio, si riduce in foglie così sottili da divenire trasparente e lasciar passare luce verde; il che si vede guardando attraverso una foglia d'oro distesa fra due lastre di vetro.

Infine vi sono corpi, come il vetro smerigliato, la carta oleata, ecc., i quali lasciano passare, almeno in parte, la luce viva che emana dalle sorgenti luminose, come il sole e le fiamme, ma non lasciano passare la luce debole che emana dai corpi illuminanti, e perciò questi non sono visibili attraverso i medesimi. Tali corpi diconsi *pellucidi*.

5. **Ombra.** — Ognuno sa che dietro un corpo opaco esiste uno spazio in cui non può penetrare la luce di un corpo luminoso collocato dinanzi. Tale spazio dicesi *ombra*.

Il fenomeno è manifestamente una conseguenza della propagazione rettilinea della luce.

6. **Penombra.** — Le ombre dei corpi presentano notevole differenza, secondochè la sorgente luminosa è un punto, o un complesso di punti cioè un corpo luminoso.

Quando la sorgente luminosa è un punto, od almeno ha assai piccole dimensioni, come, per es., la luce dell'arco voltaico, allora vi è un salto repentino dall'ombra alla luce. Invece, se il corpo luminoso è considerevolmente esteso, come il sole, allora attorno all'ombra si osserva una sfumatura che dicesi *penombra*.

L'*ombra senza penombra si può osservare* distintamente applicando al foro della finestra di una camera oscura una lente convergente, che riunisce i raggi solari in un punto detto *foco*, d'onde poi essi divergono. Se in tale fascio divergente si pone un corpo opaco qualunque, p. es., una palla sospesa ad un filo, e dietro di essa uno schermaglio, appare su questo uno spazio circolare oscuro nettamente distinto dalla luce circostante.

Invece, collocando la palla sul tragitto dei raggi paralleli del sole, appare sullo schermaglio l'*ombra colla penombra*.

7. **Limite dell'ombra e della penombra.** — *Per determinare il limite dell'ombra nel caso di un solo punto luminoso* L (fig. 69), basta condurre per questo le tangenti esterne L A E, L B F al corpo opaco, le quali se si immaginano condotte tutto attorno al medesimo, determinano dietro di esso uno spazio conico o piramidale, secondochè è rotondo o poliedrico, in cui, per la propagazione rettilinea della luce, non può penetrare un raggio luminoso.

Perciò, se si interseca lo spazio ombroso con uno schermaglio C D, risulta su questo, fra E F, una superficie ombrosa, e tutto attorno una superficie totalmente illuminata, cioè appare l'ombra senza penombra.

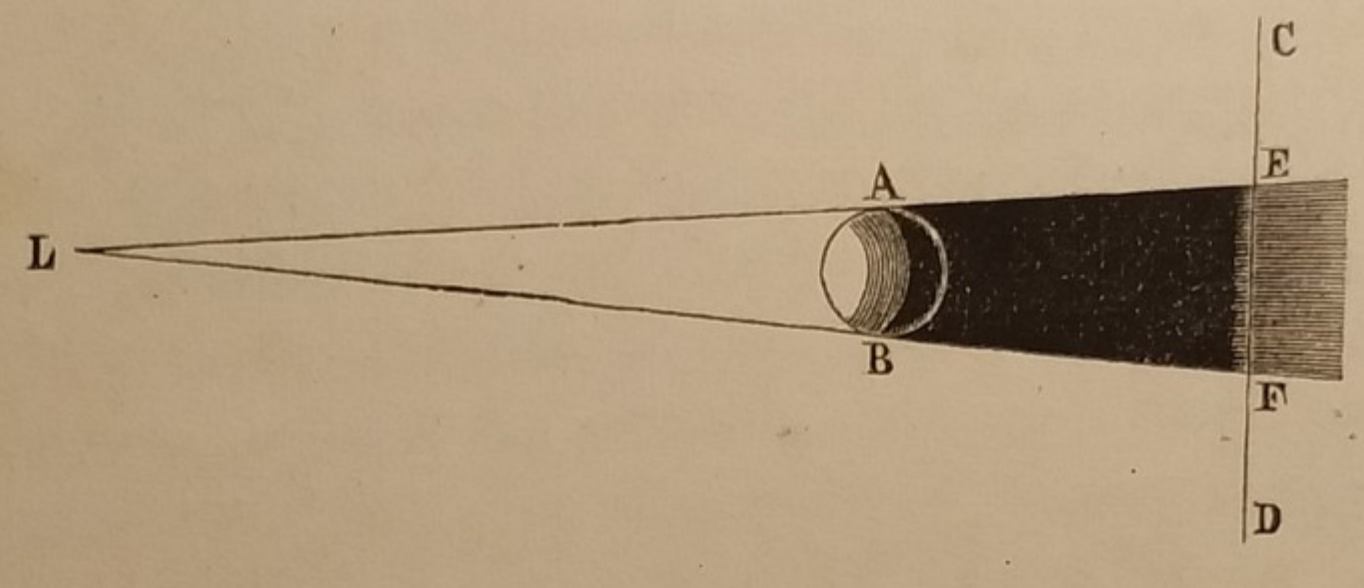


Fig. 69.

Per determinare il limite dell'ombra e della penombra nel caso di un corpo luminoso esteso S (fig. 70), si debbono condurre le tangenti esterne A C E, B D E, da una parte e dall'altra dei due corpi, luminoso ed opaco, le quali, se si immaginano con-

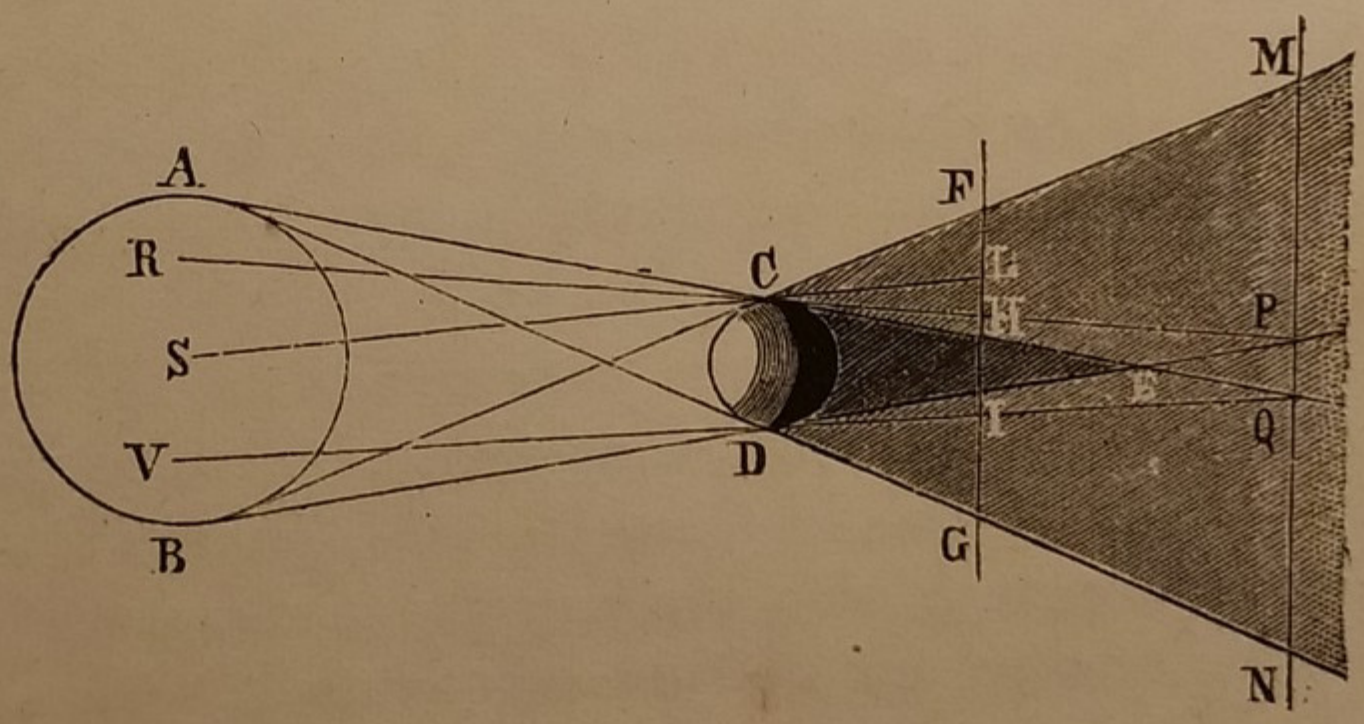


Fig. 70.

dotte tutto attorno ai medesimi, determinano al di dietro del secondo corpo lo spazio dell'ombra perfetta. Tirando poi le rette A D G, B C F, tangenti da una parte al corpo luminoso e dall'altra al corpo opaco, e immaginando che esse siano condotte tutto attorno ai due corpi, si determina il limite della luce perfetta, perchè, al di fuori dello spazio compreso fra quelle, essa può libe-

ramente giungere da qualunque punto del corpo luminoso, mentre nello spazio compreso fra i due sistemi di tangenti si ha la penombra, perchè ivi la luce può giungere solo da alcuni punti del corpo luminoso e non da altri. Per es., fra L e H può giungere la luce che parte dallo spazio S A, mentre non può giungere la luce che parte dallo spazio S B.

8. Forma, estensione e posizione dell'ombra. — Colla costruzione geometrica fatta è facile scorgere che: 1° Il cono ombroso è divergente quando il corpo opaco è più grande del corpo luminoso; invece è convergente quando il corpo opaco è minore del corpo luminoso. 2° La penombra è tanto più estesa quanto più la superficie su cui cade è lontana dal corpo opaco e quanto più questo è vicino al corpo luminoso. 3° L'ombra giace

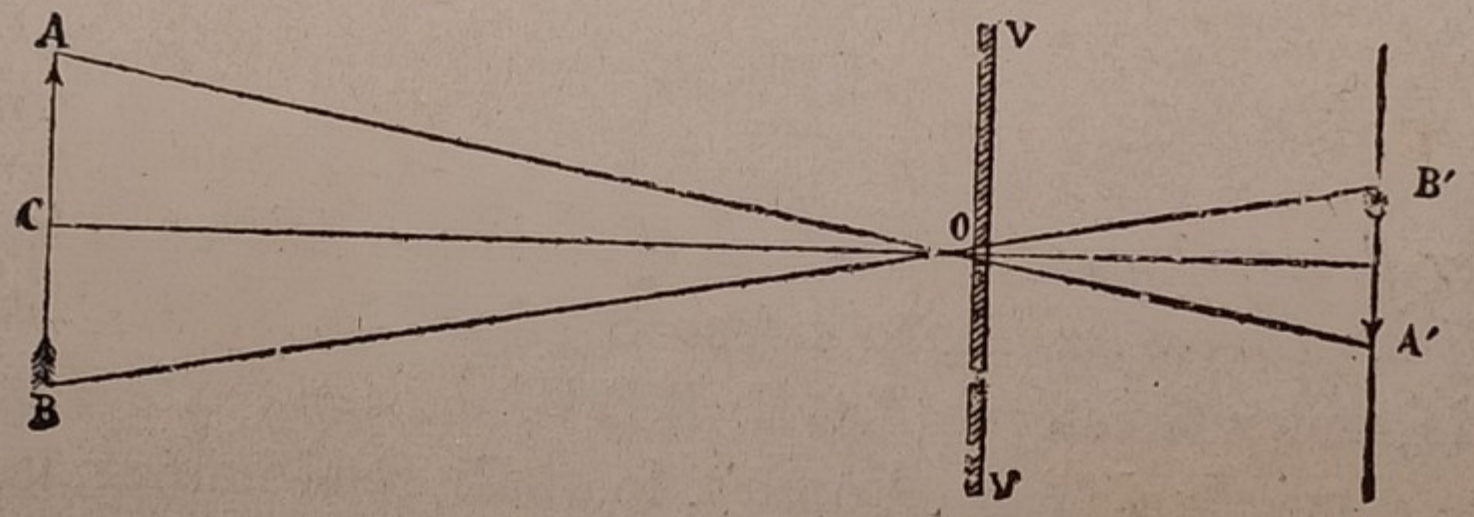


Fig. 71.

sempre in linea retta col corpo illuminante e il corpo illuminato; perciò se il primo si muove muovesi pure l'ombra in opposta direzione.

Quindi l'ombra di un albero, mentre il sole nel cielo descrive il suo arco diurno da levante a ponente, innanzi mezzogiorno cade verso ponente, facendosi tanto più corta quanto più il sole si solleva; dopo mezzogiorno invece si distende verso levante, e diviene ad un tempo tanto più lunga quanto più basso scende il sole.

9. Camera oscura. — Se i raggi luminosi che partono dagli oggetti esterni entrano in una camera oscura per un piccolo foro praticato nelle imposte di una finestra, presentando al medesimo uno schermaglio si veggono su questo le immagini rovesciate degli oggetti esterni.

Così se A B (fig. 71) è l'oggetto, V V la parete della camera, O il foro per cui entrano i raggi, M N lo schermaglio, risulta in A′B′ l'immagine rovesciata dell'oggetto A B.

Il fenomeno si osserva sovratutto quando avanti alla finestra vi è un bel panorama, come avviene sulle piazze, e gli oggetti sono ben illuminati.

Lo schermaglio può anche essere costituito dalla parete della camera opposto al foro, il quale in tal caso deve essere più grande. In generale lo schermaglio deve essere più o meno vicino al foro secondochè questo è più o meno piccolo, e l'immagine è, fra certi limiti, tanto più viva e precisa quanto più la parete e gli oggetti sono vicini al foro, e questi più illuminati, ed è invece tanto più grande e meno viva quanto più lo schermaglio è lontano dal foro.

10. Come nascono le immagini nella camera oscura. — Il rovesciamento delle immagini nella camera oscura è manifestamente un effetto della propagazione rettilinea della luce, per cui i raggi luminosi che partono dall'alto dell'oggetto vengono ad incontrare il diaframma in basso, ed inversamente; e così pure quelli che partono dalla destra vengono ad incontrare il diaframma a sinistra, e viceversa.

Di più, per intendere completamente la produzione di tali immagini, si deve notare che dai punti più chiari dell'oggetto partono raggi più intensi che non dai punti meno chiari; perciò i diversi punti del diaframma su cui arrivano codesti raggi di diversa intensità risultano anche diversamente illuminati, come i punti corrispondenti dell'oggetto, e così nasce una disposizione di chiari e scuri che corrispondono a quelli dell'oggetto e ne costituiscono un'immagine.

Se l'apertura della camera oscura è troppo grande, l'immagine diviene confusa, perchè, ad es., nella parte inferiore del diaframma possono in tal caso arrivare non solo i raggi luminosi partiti dalla parte superiore dell'oggetto, ma anche quelli partiti dalle parti mediane o dalle inferiori, i quali si sovrappongono. Di più, allora penetra anche la luce diffusa più intensa, che fa scomparire la luce più debole emanata dai corpi illuminati.

Infine si osserva che queste immagini sono sempre le stesse qualunque sia la forma del foro. Il che si prova anche meglio facendo entrare in una camera oscura un fascio di luce solare attraverso piccoli fori di diversa forma, triangolare, quadrata, circolare; si vede così, su uno schermaglio collocato a sufficiente distanza dal foro, sempre un cerchietto luminoso.

Se il diaframma è perpendicolare alla direzione della retta che congiuge il centro dell'oggetto col centro dell'apertura, l'immagine risulta simile all'oggetto; se invece il diaframma è inclinato su tale direzione, l'immagine sul diaframma viene allungata sul senso dell'inclinazione.

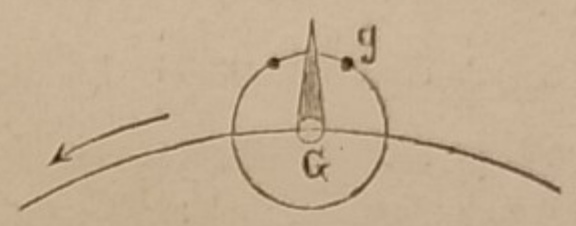
Perciò la luce del sole, che penetra attraverso i rami e le fronde degli alberi, non va a rappresentare sotto i medesimi le figure degli intervalli pei quali passa, ma tanti occhielli tondeggianti, circolari o allungati, secondo che il suolo è perpendicolare od obliquo ai raggi solari. E questi occhielli diventano falcati nel tempo degli eclissi parziali di sole.

11. Velocità della luce. — La luce essendo un movimento vibratorio che si comunica successivamente da una particella all'altra dell'etere, deve, come il suono, impiegare del tempo a percorrere le distanze. Però la sua velocità è assai maggiore di quella del suono, e si è trovato, che negli spazi celesti, e presso a poco anche nell'aria, essa è circa 300 milioni di metri per secondo. Tale velocità venne dapprima determinata con osservazioni astronomiche e poi con molte esperienze fatte alla superficie terrestre.

12. Determinazione della velocità della luce col metodo di Roemer. — La velocità della luce venne dapprima (1676) determinata dall'astronomo danese Roemer, mediante l'osservazione degli eclissi del 1° satellite di Giove.

Il pianeta Giove (G, fig. 72) gira attorno al Sole in 11 anni e 10 mesi in un'orbita che comprende quella della Terra (T), la quale percorre la sua in 12 mesi. Perciò, in questo tempo, nel quale Giove percorre solo poco più della 12ª parte della sua orbita, la Terra trovasi una volta ad una distanza minima (T G), una volta (dopo 6 mesi) a distanza massima (T″ G) e due volte a distanza intermedia (T′ G, T‴ G) da Giove; e la differenza tra la minima e la massima distanza eguaglia evidentemente il diametro dell'orbita terrestre. Ora il primo satellite (g) di Giove percorre

la sua orbita attorno al pianeta in 42 ore, 28 primi e 35 secondi, immergendosi in ogni rivoluzione una volta nell'ombra del medesimo. Il tempo tra due immersioni, od emersioni successive nell'ombra, è sempre uguale alla durata della rivoluzione, quando la terra percorre le porzioni (T, T″) della sua orbita, normali alla retta che congiunge la Terra con Giove, cioè si trova in vicinanza della distanza minima o massima del pianeta, perchè allora la sua distanza dal medesimo si mantiene sensibilmente costante nei detti periodi di tempo, in cui avvengono gli eclissi. Invece, quando la Terra (passando da T in T′ e T″) si allontana da Giove, gli intervalli fra due emersioni successive del satellite dall'ombra del pianeta divengono alquanto maggiori di 42 ore e $^1/_2$, perchè la luce del satellite in questo caso deve percorrere lo spazio di cui la Terra si è allontanata da Giove nel detto tempo. Questo spazio è evidentemente uguale alla proiezione dello spazio realmente percorso dalla Terra in quel tempo sulla retta che congiunge il centro del Sole col centro di Giove.



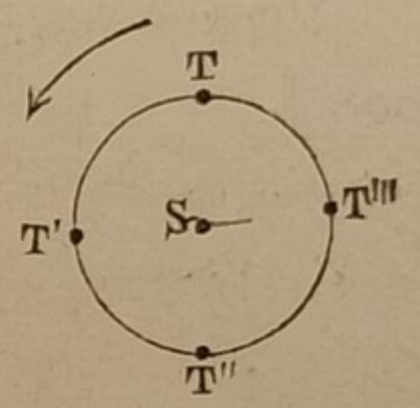


Fig. 72.

Quando invece la Terra passando da T″ in T‴ e T si avvicina a Giove, gli intervalli fra due immersioni successive del satellite nell'ombra del pianeta divengono sempre alquanto minori di 42 ore e $^1/_2$, perchè allora la Terra va incontro alla luce, e perciò la riceve più presto.

Ora, la somma di tutti i ritardi che hanno luogo in mezzo anno, nella metà dell'orbita terrestre compresa fra la distanza minima e massima da Giove, importa 16 primi e 26,4 secondi, ed altrettanto importa la somma di tutte le anticipazioni che avvengono nel passaggio della Terra dalla distanza massima alla minima. Ma nel 1° passaggio la Terra si è allontanata da Giove di una quantità eguale al diametro dell'orbita terrestre, e nel 2° passaggio si è avvicinata a Giove della stessa quantità. Dunque la luce impiega 16 primi e 26 secondi $=$ 986″ a percorrere il diametro dell'orbita terrestre.

Di più, siccome il ritardo o l'avanzamento nell'apparizione del fenomeno luminoso cresce uniformemente col crescere o diminuire della distanza della Terra da Giove, è da concludere che la velocità della luce è uniforme.

Quindi, per la formola $v = \frac{s}{t}$ dal moto uniforme, dividendo la lunghezza conosciuta di cotesto diametro (due volte la distanza media della Terra dal Sole) pel numero 986,4 dei secondi impiegati dalla luce a percorrerlo, si ebbe la velocità di circa 301 000 000 *m.* al secondo.

28. Intensità della luce.

1. Definizione dell'intensità luminosa. — La luce che arriva in una camera sul muro che sta di fronte ad una finestra è più abbondante di quella che arriva sul muro laterale alla medesima, il quale riceve solo la luce che gli rimanda il primo.

Si denomina *intensità della luce* su di un corpo illuminato *la quantità di luce che riceve ogni unità di superficie del medesimo.*

Essa si misura, come vedremo, mediante strumenti detti *fotometri*, e dipende dalle seguenti cause.

2. Influenza dell'intensità della sorgente luminosa. — *L'intensità della luce su di un corpo illuminato è proporzionale a quella che emette la sorgente luminosa.* Infatti è evidente che col crescere della quantità di luce emessa deve, a parità delle altre condizioni, crescere quella della luce ricevuta.

Ora, l'*intensità della luce che emette una sorgente luminosa dipende dalla natura, dal numero e dalla temperatura delle particelle vibranti.*

La natura delle particelle luminose ha certamente influenza; per es., l'intensità luminosa di una fiamma di idrogeno puro è diversa da quella dell'idrogeno carbonato o gas luce.

Parimente ha influenza il numero delle particelle vibranti, perchè le fiamme dei gas compressi hanno maggior splendore che quelle dei gas alla pressione ordinaria.

Infine col crescere della temperatura cresce la forza viva delle particelle e diviene massima al calore bianco.

3. Influenza della distanza dalla sorgente. — Ognuno sa che l'intensità della luce su di un foglio di carta decresce col crescere della distanza del medesimo dalla sorgente luminosa, e coi fotometri si verifica che per avere la stessa intensità luminosa

alle distanze	1,	2,	3,	
si richieggono	1,	4,	9	sorgenti luminose eguali;

d'onde si deduce che l'intensità luminosa di ciascuna sorgente alle dette distanze

è	1.	1/4,	1/9,

Q quantità di luce
S

$$Q = S \frac{A \cos\alpha \; B \cos\beta}{r^2}$$

cioè che l'*intensità della luce decresce coi quadrati delle distanze dalla sorgente luminosa.*

Questa legge, identica a quella del suono, dipende, come questa, dal fatto che

alle distanze 1 , 2 , 3

da una sorgente luminosa, la luce si spande sopra superfici sferiche le quali stanno fra loro

come i quadrati 1 , 4 , 9

dei detti numeri, e perciò le quantità di luce che arrivano sull'unità di superficie debbono decrescere nella stessa misura.

4. Influenza dell'assorbimento del mezzo. — Al mattino ed alla sera, quando il sole è basso sull'orizzonte, esso illumina e riscalda meno i corpi che verso il mezzodì, quando è più elevato, evidentemente perchè i suoi raggi sono più assorbiti, sia perchè attraversano l'atmosfera più obliquamente, e quindi per maggiore lunghezza, e sia perchè l'aria è allora meno trasparente per la condensazione del vapore acqueo che succede col diminuire della temperatura.

Quindi si deve concludere che: *l'intensità della luce è tanto minore quanto maggiore è l'assorbimento del mezzo in cui essa si propaga.*

5. Influenza dell'obliquità dei raggi incidenti. — Se si interseca un fascio cilindrico di raggi luminosi con uno schermaglio perpendicolare a questi, la superficie illuminata è un cerchio, che costituisce la sezione retta di quel cilindro; se invece lo schermaglio è inclinato sulla direzione dei raggi luminosi, la sezione o superficie illuminata è un'elisse, tanto più allungata quanto maggiore è l'obliquità dello schermaglio. Ora, siccome la quantità di luce del fascio è costante, egli è chiaro che, col crescere della superficie illuminata, deve diminuire la quantità di luce che riceve ogni unità di superficie, cioè l'intensità della luce.

Dunque: *l'intensità della luce decresce col crescere della obliquità dei raggi luminosi incidenti sulla superficie illuminata.*

Considerando poi che una superficie AB (fig. 73) riceve il massimo numero di raggi quando è perpendicolare a questi, ed invece quando è obliqua, come AD, riceve solo quelli che giungerebbero sulla proiezione AC di AD sopra AB, si conclude che l'*energia raggiante che arriva sopra una data superficie è proporzionale alla proiezione di questa sopra un piano perpendicolare ai raggi.*

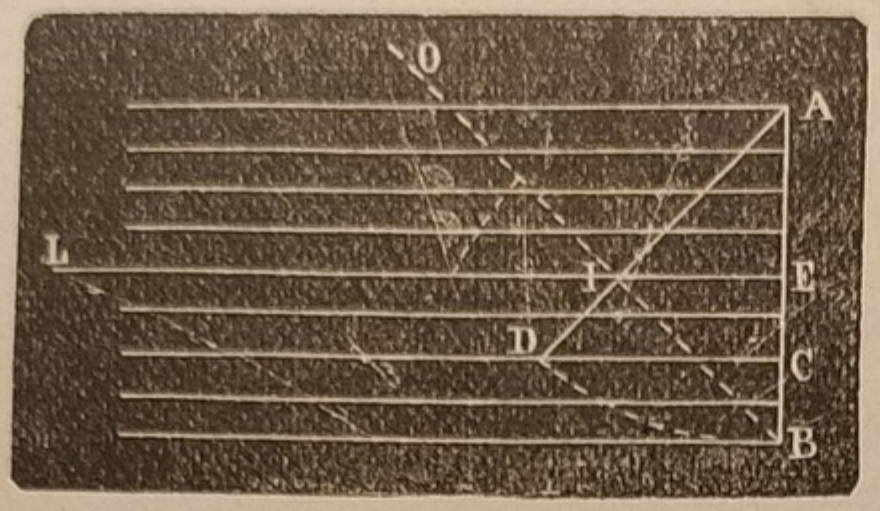


Fig. 73.

6. Influenza dell'obliquità dell'emissione dei raggi. — Chi sta davanti ad un camino o ad una stufa, in modo da ricevere i raggi calorifici emessi perpendicolarmente alla superficie del corpo caldo, sente più calore che colui il quale sta di fianco ai detti raggi in modo da ricevere solo i raggi emessi obliquamente.

Dunque: *l'intensità della luce decresce col crescere della obliquità dei raggi sulla superficie che li emette.*

7. Fotometri. — I *fotometri* (*fos*, luce), od *apparecchi che servono a misurare l'intensità della luce delle diverse sorgenti luminose*, sono fondati sulla legge che: l'*intensità della luce decresce coi quadrati delle distanze dalla sorgente luminosa.*

8. Unità pratica dell'intensità luminosa. — Nelle ricerche fotometriche si usa, come unità pratica di intensità luminosa: in Inghilterra l'intensità luminosa della fiamma di *candela normale*, una candela di spermaceti (bianco di balena) da 6 alla libbra inglese e che consuma *gr.* 7,77 all'ora bruciando con fiamma alta 45 *mm.*; in Germania una candela di paraffina da 12 al chilogramma, col diametro di 20 *mm.* bruciante con fiamma alta 50 *mm.*; in Francia, e spesso anche in Italia, per gli assaggi del gas illuminante, una lampada Carcel di dimensioni ben determinate che consuma 42 *gr.* all'ora di olio di colza depurato.

Queste fiamme sono abbastanza costanti di intensità per le determinazioni industriali, ma non soddisfano a questo riguardo alle esigenze della scienza; ragione per cui fu presa nella conferenza internazionale del 1884 a Parigi la seguente deliberazione in base alle proposte di Violle:

« *L'unità pratica di luce bianca è la quantità di luce emessa in di-*
« *rezione normale da un centimetro quadrato di superficie di platino fuso,*
« *alla temperatura di solidificazione* ».

Se si rappresenta con 1 l'intensità luminosa della candela normale inglese, quella della candela tedesca è 0,97; della lampada Carcel: 7,40; della Violle: 15,4.

9. Fotometro Bunsen. — Tra i fotometri il più usato è quello di Bunsen, nel quale un disco di carta, con trasparenza non omogenea, per es., con una macchia d'unto, è illuminato sotto una stessa inclinazione, sulle due faccie dalle due sorgenti luminose, e la macchia scompare alla vista quando è egualmente illuminata.

Allora *il rapporto delle intensità delle due luci è eguale al rapporto dei quadrati delle loro distanze dal disco di carta.*

Infatti se i e I sono le intensità delle due sorgenti alle distanze 1, le loro intensità alle distanze d e D, per la legge esposta nel n° 3, sono rispettivamente $\frac{i}{d^2}$, $\frac{I}{D^2}$. Ma quando la macchia scompare le dette intensità sono eguali, dunque $\frac{i}{d^2} = \frac{I}{D^2}$, ovvero $\frac{i}{I} = \frac{d^2}{D^2}$.

D'onde si ricava $I = i \times \frac{D^2}{d^2}$.

Per es., se $i = 1$ (candela inglese), $d = 1$ metro, $D = 2$ metri, si ottiene $I = 4$.

§ 29. Riflessione della luce.

1. Trasformazioni dell'energia raggiante. — Quando l'energia raggiante che si propaga per l'etere giunge alla superficie di un corpo può provare tre cangiamenti: 1° ritornare addietro nel mezzo primitivo, cioè essere *riflessa*; 2° penetrare nel nuovo mezzo e propagarsi nel medesimo; allora essa è *trasmessa*; 3° può infine cessare di esistere come energia raggiante luminosa, perchè comunica il proprio movimento alle molecole del corpo, e lo riscalda, cioè viene trasformata in calore oscuro, con che il numero delle vibrazioni viene abbassato; si dice allora ch'è *assorbita*.

Sovente i tre fenomeni avvengono insieme; il più spesso ne avvengono due; raramente uno solo; ma conviene studiarli separatamente, incominciando dal fenomeno della riflessione.

2. La riflessione della luce. — Si distingue in *regolare* ed *irregolare*.

La riflessione *regolare*, o *speculare*, avviene quando la luce si riflette su di una superficie levigata, come quella dell'acqua, del vetro, dei metalli.

La riflessione *irregolare*, o *diffusione*, avviene quando la luce incontra una superficie non levigata, come quella della maggior

parte dei corpi, e si spiega osservando che le superficie scabre sono costituite da elementi superficiali che hanno infinite direzioni diverse, e perciò riflettono i raggi in tutte le direzioni. È mediante questa luce diffusa che noi vediamo i corpi i quali non hanno luce propria.

Dappertutto poi ove la materia ponderabile è interrotta vi è riflessione della luce incidente. La moltitudine delle riflessioni sulle superficie delle particelle rende opachi i mezzi costituiti di frammenti trasparenti. Perciò i corpi trasparenti come il vetro, i cristalli, il ghiaccio, ridotti in polvere, divengono opachi. Così pure l'acqua ridotta in minute goccie, come nelle nubi, diviene opaca.

3. Leggi della riflessione regolare. — Chiamando, come nel caso del suono (vol I, pag. 269): *angoli d'incidenza e di riflessione, quelli che i raggi incidente e riflesso formano colla perpendicolare alla superficie riflettente condotta pel punto d'incidenza*, la riflessione regolare della luce avviene secondo le seguenti leggi generali della riflessione dei movimenti ondulatorii.

1° *Il raggio riflesso giace nel piano del raggio incidente e della perpendicolare alla superficie riflettente condotta pel punto d'incidenza, e i due raggi, incidente e riflesso, stanno dalla stessa parte della superficie riflettente, ma dall'opposta parte della perpendicolare.*

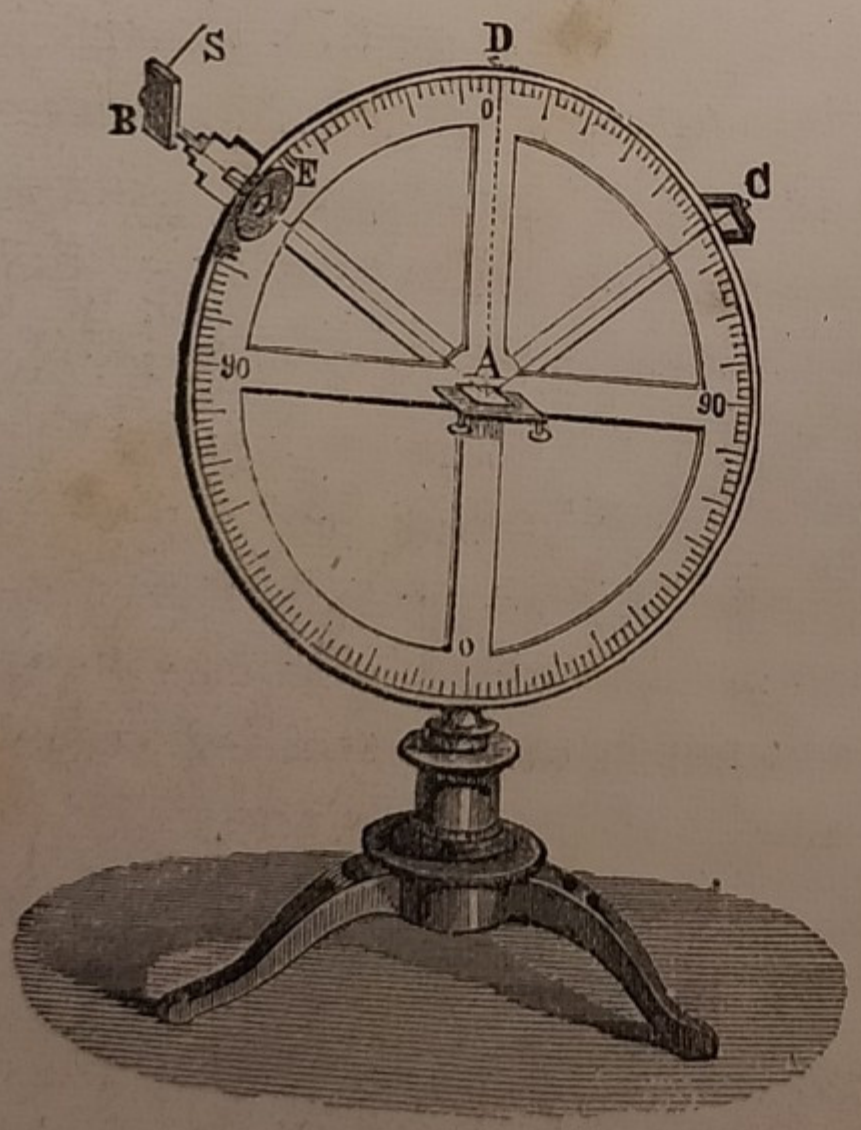


Fig. 74.

2° *L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.*

4. Prova sperimentale. — Si dimostrano sperimentalmente queste leggi con diversi apparecchi. Uno dei più usati consiste in un cerchio verticale graduato, nel cui centro si dispone uno specchietto metallico orizzontale (A, fig. 74) su cui, mediante un altro specchietto girevole (B), si fa cadere, in una camera oscura, un sottile fascio di luce solare nella direzione di

un raggio (B A) del cerchio. Allora, mediante la graduazione, si osserva che il fascio viene riflesso secondo un altro raggio (A C) del cerchio, il quale fa col raggio verticale (A D) di questo, cioè colla normale alla superficie dello specchio, un angolo di riflessione (D A C) eguale all'angolo d'incidenza (D A B) formato dal raggio incidente (B A) colla stessa normale. Il che dimostra la 2ª legge. La 1ª è dimostrata dall'essere il fascio riflesso parallelo alla superficie del cerchio come il fascio incidente.

Però questa prova sperimentale è solo approssimativa perchè non si può isolare un raggio luminoso unico, ma solo un fascio più o meno sottile.

5. La causa meccanica della riflessione della luce è quella stessa che venne esposta per le onde sonore. Le onde luminose che si propagano nell'etere libero incontrando un mezzo più resistente di questo ritornano simmetricamente addietro come quelle sull'acqua, cosicchè il centro delle onde riflesse giace al di là della superficie riflettente in un punto simmetrico al punto luminoso; perciò ogni raggio dell'onda riflessa giace nello stesso piano perpendicolare allo specchio che contiene il raggio incidente, e fa colla perpendicolare angolo eguale.

§ 30. Immagini prodotte dagli specchi piani.

1. Specchi chiamansi le superfici levigate, capaci di riflettere la luce regolarmente. Consistono in lastre di metallo o di vetro. I primi sono di bronzo durissimo, suscettibile di acquistare una bella levigatura, composta di 2 parti di rame e di 1 parte di stagno. Essi erano esclusivamente usati dagli antichi, mentre oggidì, nell'uso comune, si preferiscono gli specchi di vetro. Questi sono costituiti da una lastra di vetro, la cui superficie posteriore è coperta, o da un'amalgama di mercurio e stagno, o da uno strato di argento.

Una lastra di vetro sola, senza lo strato metallico sulla faccia posteriore, riflette già una parte della luce incidente sulla sua faccia anteriore, ma una parte maggiore di quella luce penetra nel vetro e l'attraversa, cosicchè il fascio viene diviso in due, uno riflesso e l'altro trasmesso, come si può facilmente verificare facendo cadere i raggi solari in una camera oscura su una lastra di vetro. Così avviene pure sull'acqua e altri mezzi trasparenti.

Ma se trovasi il metallo sulla seconda faccia della lastra di vetro esso riflette la maggior parte del fascio che è penetrato nel medesimo, e costituisce la vera superficie riflettente. Perciò ricevendo su una parete la luce riflessa obliquamente da uno specchio di vetro si veggono due superfici illuminate, una più debolmente dovuta alla riflessione del vetro, l'altra più intensamente dovuta alla riflessione sulla superficie metallica. Invece uno specchio metallico avendo una sola superficie riflettente presenta un solo fascio luminoso riflesso.

Gli specchi si distinguono dapprima in *piani* e *curvi*, secondochè la loro superficie riflettente è piana o curva. Gli specchi

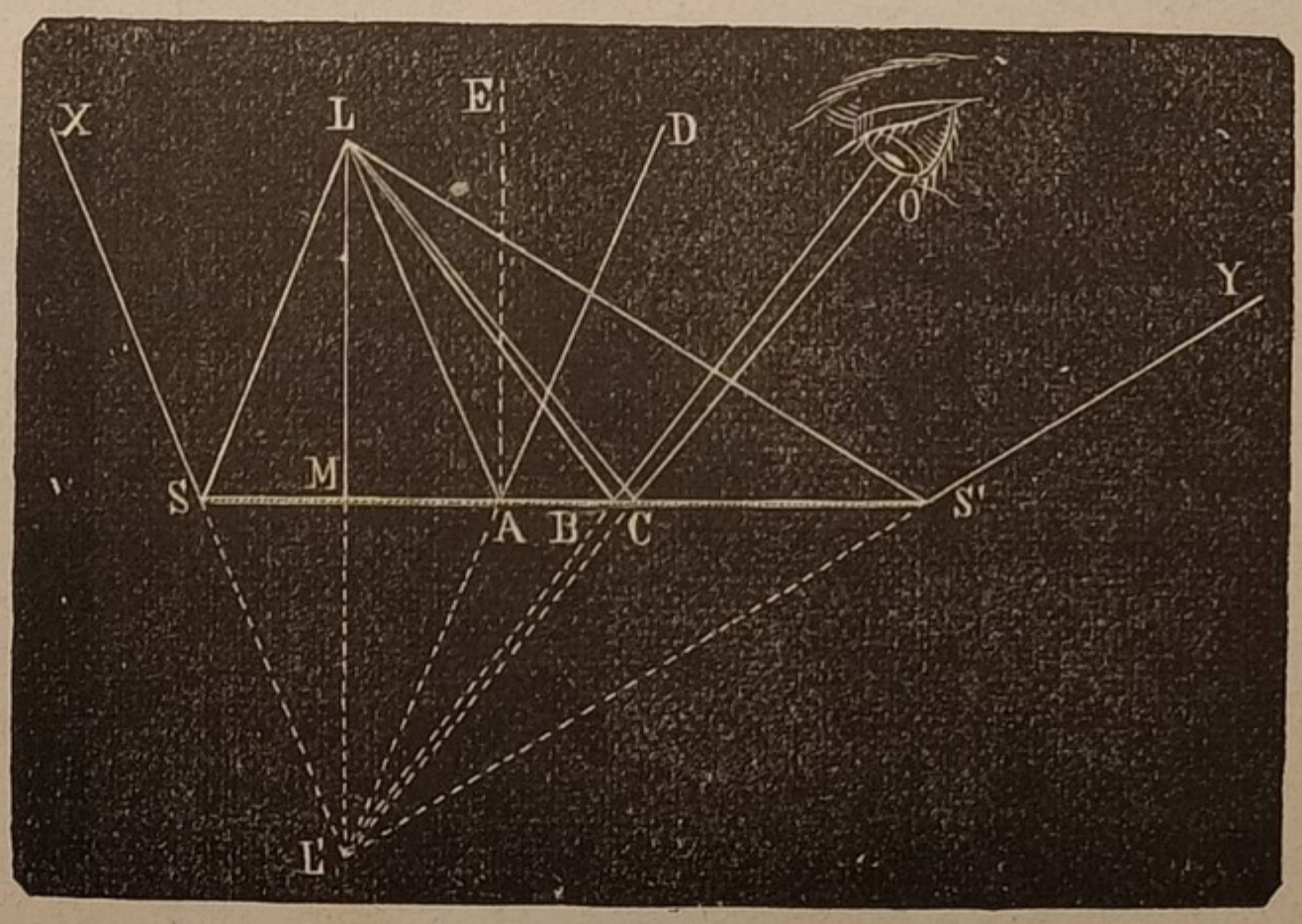


Fig. 75.

curvi poi si distinguono in *concavi* e *convessi*, secondochè la loro superficie riflettente è concava o convessa, e secondo la forma della curvatura chiamansi *sferici*, *cilindrici*, *conici*, *parabolici*, ecc., secondochè la loro superficie riflettente è sferica, cilindrica, conica, parabolica, ecc.

2. Immagini. — Gli specchi hanno la proprietà di presentare all'occhio le forme degli oggetti collocati loro dinanzi, le quali diconsi *immagini*.

3. Immagine di un punto luminoso. — Per conoscere come si formano le immagini degli oggetti negli specchi piani, conviene dapprima esaminare come si forma l'immagine di un punto luminoso, o raggiante L (fig. 75).

Sia SS′ la sezione fatta nello specchio da un piano perpendicolare al medesimo e passante pel punto L; LA un raggio incidente sullo specchio nel detto piano, EA la perpendicolare, o normale, allo specchio passante pel punto A, e perciò LAE l'angolo d'incidenza del detto raggio LA. Per avere la direzione di questo raggio dopo la riflessione basta condurre la retta AD che forma colla normale AE un angolo di riflessione DAE = LAE.

Ora, se si abbassa dal punto luminoso L, la perpendicolare LM sullo specchio, e la si prolunga indefinitamente dietro questo, e poi si prolunga punteggiata (*) la direzione DA dietro lo specchio, essa va ad incontrare il prolungamento della perpendicolare LM in un punto L′ simmetrico (vol. I, pag. 269) al punto L, perchè i due triangoli rettangoli LMA, L′MA sono eguali per avere il cateto comune MA compreso fra angoli eguali (gli angoli in M sono retti, e MAL = MAL′ perchè ambedue eguali a DAS′); perciò L′M = LM.

Ora, siccome ciò che si è detto pel raggio LA vale per qualunque altro raggio, come LB, LC, ecc., il quale, dopo la riflessione, prolungato deve pure passare pel punto simmetrico L′, perchè i triangoli LMB, L′MB, ed LMC, L′MC, ecc., debbono sempre essere eguali, consegue che tutti i raggi partiti da L, dopo la riflessione sullo specchio, si dirigono come se provenissero dal punto simmetrico L′.

Pertanto, se un occhio si trova sopra lo specchio nello spazio L′XY limitato dalle rette condotte dal punto L′ tangenzialmente al contorno del medesimo, entrerà in quello per la sua pupilla, un piccolo fascio conico, LBCO, come se provenisse dal punto simmetrico L′, e perciò esso vedrà ivi il punto luminoso L.

Concludiamo che: *l'immagine di un punto luminoso data da uno specchio piano giace in un punto simmetrico rispetto allo specchio.*

Questa immagine evidentemente non varia di posizione, comunque l'occhio si muova nello spazio conico L′XY limitato dalle rette condotte pel punto simmetrico L′ tangenzialmente al contorno dello specchio.

(*) In generale nelle figure ottiche le linee continue rappresentano raggi luminosi reali, e quelle punteggiate rappresentano solo direzioni.

4. Effetto del movimento dello specchio. — *Invece, movendo lo specchio, l'immagine muta posto.* Se quello *si muove solo parallelamente a sè stesso*, avvicinandosi o allontanandosi dal punto luminoso, la distanza dell'immagine dal punto luminoso varia del doppio, perchè di quanto cresce o diminuisce la distanza del punto luminoso dallo specchio, di altrettanto cresce o diminuisce quella dell'immagine dal medesimo.

Se poi lo specchio gira e il raggio incidente resta fisso, il raggio riflesso gira di un angolo doppio di quello dello specchio.

Infatti, sia A l'angolo primitivo del raggio incidente colla normale allo specchio, e quindi 2A l'angolo formato dal raggio incidente col riflesso.

Se lo specchio gira di un'angolo α, la normale gira pure di α, e perciò l'angolo del raggio incidente colla normale diviene $A + \alpha$, e quello del raggio incidente fisso colla nuova direzione del raggio riflesso diviene: $2(A + \alpha) = 2A + 2\alpha$, mentre prima era 2A; dunque quell'angolo è cresciuto di 2α, cioè il raggio riflesso ha girato di 2α.

5. Immagine di un oggetto. — Conoscendo come si forma l'immagine di un punto raggiante in uno specchio piano è facile intendere come si produce quella di un complesso di punti raggianti, cioè di un oggetto.

Infatti, sia A B (fig. 76) un oggetto, per es. una freccia, collocato avanti ad uno specchio piano. Poichè i raggi riflessi vengono da punti simmetrici ai punti luminosi rispetto allo specchio (n° 3), per determinare l'immagine si determina dapprima il punto simmetrico di A, abbassando da questo la perpendicolare sulla superficie riflettente e prolungandola di eguale lunghezza. Quindi dal punto simmetrico *a* si tirano due rette alle estremità di un diametro della pupilla dell'occhio riguardante nello specchio. Le porzioni di tali rette sovrastanti allo specchio rappresentano il fascio conico riflesso che entra nell'occhio, e gli porta l'immagine del punto A. Per rappresentare il fascio conico incidente corrispondente a questo fascio conico riflesso penetrante nell'occhio, non si ha che da congiungere col punto luminoso A i punti d'intersezione dei raggi riflessi collo specchio.

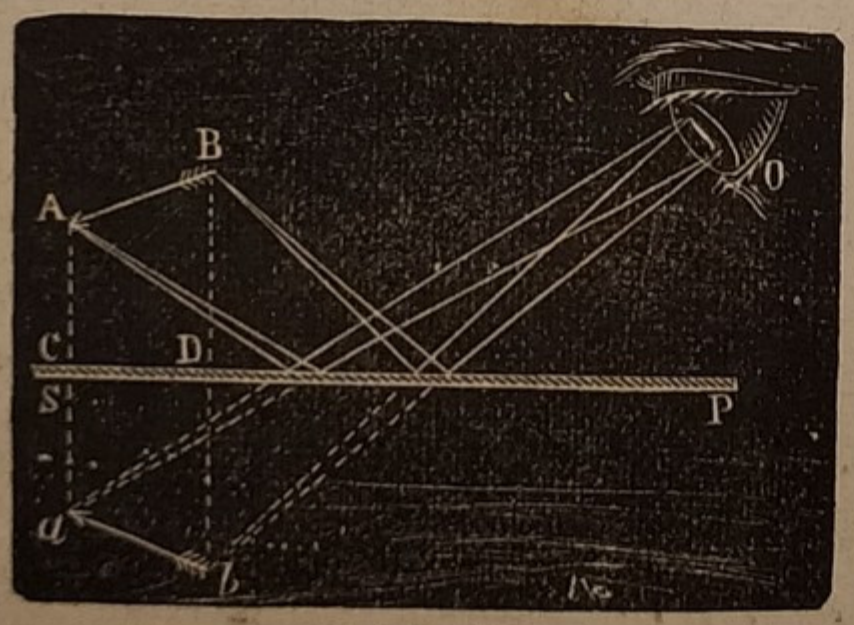


Fig. 76.

Parimente si ha l'immagine del punto B dell'oggetto determinando il punto simmetrico b, poi tirando da queste le rette che limitano il fascio conico riflesso penetrante nell'occhio, ed infine tirando quelle che segnano il fascio incidente.

L'occhio riceve pertanto un fascio conico di raggi partiti da A come se venissero da a, e vede perciò il punto A in a. Così pure vede il punto B in b, ed i punti intermedii tra A e B gli appaiono tra a e b. Risulta così in $a\ b$ un'immagine simmetrica all'oggetto A B, perchè tutti i suoi punti sono simmetrici con quelli corrispondenti dell'oggetto.

Codesta immagine ha la stessa grandezza dell'oggetto, perchè se si rivolge di 180° il trapezio $a\ b$ D C attorno alla D C, esso viene a combaciare perfettamente col trapezio A B D C.

Inoltre, l'immagine $a\ b$ è virtuale, perchè non è costituita da un reale, ma solo da un apparente incontro dei raggi luminosi nel luogo in cui essa appare; perciò non si può ricevere su un diaframma, mentre, come vedremo, gli specchi sferici concavi possono dare immagini reali costituite da un reale incontro dei raggi luminosi riflessi, e le quali si possono accogliere su un diaframma collocato nel luogo in cui si formano.

6. Caratteri delle immagini date dagli specchi piani. — Dunque l'immagine di un oggetto data da uno specchio piano ha i seguenti caratteri:

1° *È collocata dietro lo specchio e simmetrica coll'oggetto;* 2° *ha la stessa grandezza di questo;* 3° *è virtuale, cioè esiste solo apparentemente e non realmente nel luogo in cui si vede.*

7. Differenze fra l'immagine e l'oggetto. — Però *l'immagine non è perfettamente identica all'oggetto in posizione rispetto all'occhio*, perchè essa è invertita nel senso trasversale, cioè la parte che nell'oggetto si trova alla destra dell'osservatore collocato di fronte a quello è a sinistra nell'immagine, e viceversa. Perciò l'immagine di una persona in uno specchio piano ha la mano destra in faccia alla sinistra, e viceversa. Perciò ancora, le lettere delle parole osservate in uno specchio piano appaiono invertite, o come si vedrebbero per trasparenza guardando a tergo del foglio. Tale fatto viene applicato dagli incisori, i quali disegnano e incidono le figure su tavolette di legno come si vedono in uno specchio piano affinchè le stampe le presentino poi diritte. Parimente tutte le lettere di stampa vengono fuse colla forma che presentano le loro immagini negli specchi piani.

8. Immagini multiple negli specchi piani di vetro. — Se si osserva assai obliquamente l'immagine di una fiamma in uno specchio piano di vetro, si vede una serie di immagini, collocate l'una dietro l'altra rispetto allo specchio e successivamente meno intense.

Così pure, ricevendo assai obliquamente su di uno specchio piano di vetro un fascio di raggi solari, in modo che i raggi riflessi arrivino sulla parete di una camera, si vede su quella una successione di immagini solari collocate l'una dietro l'altra, e sempre meno splendide.

Invece cogli specchi metallici nelle stesse condizioni si vede una sola immagine.

Il qual fatto si spiega facilmente osservando che, mentre gli specchi metallici hanno una sola superficie riflettente, quelli di vetro ne hanno due, cioè la superficie del vetro e la superficie metallica applicata sull'altra faccia. Pertanto, allorchè la luce che parte da un corpo luminoso arriva sulla superficie del vetro, una piccola parte ne è riflessa e dà la prima immagine poco intensa, mentre la massima parte penetra nello specchio e arriva sulla superficie riflettente metallica, ove subisce una seconda riflessione, assai più completa della prima; epperò dà la seconda immagine più intensa. Ma la luce riflessa dalla superficie metallica, quando si presenta sulla faccia interna del vetro per uscire nell'aria, non esce totalmente; una piccola parte si riflette sulla detta faccia interna del vetro e viene a riflettersi una seconda volta sulla faccia metallica, il che dà luogo ad una terza immagine più debole della seconda. E siccome questa luce due volte riflessa non esce totalmente dalla lastra, ma si riflette di nuovo parzialmente sulla faccia interna di quella, così essa viene a riflettersi una terza volta sulla superficie metallica, il che dà una quarta immagine più sbiadita della terza, e così di seguito.

Siccome codeste immagini sono collocate l'una dietro l'altra sulla medesima perpendicolare allo specchio, perciò per vederle bisogna guardare l'immagine di un oggetto obliquamente e non perpendicolarmente allo specchio.

9. Immagini multiple fra due specchi piani. — Se fra due specchi piani, facenti un angolo, si colloca una fiamma, si veggono più immagini, il cui numero cresce col diminuire dell'angolo degli specchi. E precisamente:

si veggono 3 immagini, quando l'angolo è di 90°,
» 5 » » » 60°,
» 7 » » » 45°.

Se poi l'angolo diviene 0 allora il numero delle immagini diviene teoricamente infinito, il quale fenomeno si osserva frequentemente nelle sale fra due specchi paralleli collocati di fronte.

In generale, rappresentando con α l'angolo degli specchi, il numero n delle immagini è dato dalla formola

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1.$$

Di più le dette immagini sono disposte sopra una circonferenza passante per l'oggetto luminoso e il cui centro è sulla linea di intersezione dei piani dei due specchi.

10. *Un'applicazione degli specchi ad angolo è il* **caleidoscopio** di Brewster, che è un tubo di metallo, o cartone, contenente due lastre di vetro inclinate fra loro di 60° o di 45°, chiuso ad una estremità da una lastra di metallo o cartone con un foro centrale, cui si applica l'occhio, mentre all'altra è chiuso da due dischi di vetro, uno interno trasparente e vicino agli specchi e l'altro esterno smerigliato, tra i quali due dischi, che col tubo formano una specie di scatola, si pongono pezzetti colorati di vetro, carta, stoffa, barbe di penna, ecc. Guardando nel tubo si veggono per riflessione sugli specchi simmetrici e stellati gruppi degli oggetti collocati fra i due dischi di vetro, e facendo girare il tubo si veggono sempre nuovi gruppi perchè varia sempre la posizione rispettiva degli oggetti. Questo apparecchio può servire per comporre i disegni delle tappezzerie e delle stoffe.

11. Uso degli specchi piani. — Oltre *all'uso comune* gli specchi piani tornano utili in molti apparecchi scientifici.

Si è veduto nell'acustica (vol. I, pag. 327) un'applicazione degli specchi rotanti *per osservare le oscillazioni delle fiamme manometriche.*

Ma l'applicazione più frequente consiste nel *rendere visibili e misurabili spostamenti piccolissimi di un oggetto.* Perciò si munisce questo di uno specchio, su cui si fa cadere un piccolo fascio luminoso fisso, mentre il fascio riflesso si muove su di una graduazione che misura la deviazione; dividendo questa per due si ha la deviazione dell'oggetto a cui è applicato lo specchio.

Il *portaluce*, che serve a mandare i raggi solari in una direzione determinata, consta di uno specchio piano girevole a mano intorno a due assi fra loro perpendicolari.

Se poi si vuole mantenere fissa la direzione del fascio riflesso, malgrado lo spostamento del sole, si fa muovere opportunamente lo specchio mediante un movimento d'orologeria, e si ha così l'apparecchio detto *eliostato.*

Sulla riflessione della luce sulle faccie piane dei cristalli è pure fondato il *goniometro*, mediante il quale si misurano gli angoli di quelle faccie.

Si usa uno *specchietto piano per osservare l'altezza barometrica*, e in ogni altro caso in cui, facendo una lettura, si può commettere un *errore di parallasse*, il quale nasce dal riferire un dato punto obliquamente su una graduazione. Infatti, se si guarda in modo che il punto osservato copra la propria immagine in uno specchio parallelo alla scala, si è sicuri che la linea di mira è perpendicolare alla graduazione.

12. Spettri. — Le lastre di vetro senza amalgama riflettono tuttavia un poco di luce sulla loro superficie, e perciò possono dare immagini di oggetti vivamente rischiarati posti opportunamente dinanzi. Egli è appunto mediante tale artifizio che si ottengono i così detti *spettri*. Su un palco poco illuminato è collocata una grande lastra di cristallo opportunamente

inclinata, e non visibile agli spettatori collocati dinanzi nell'oscurità. Sotto alla lastra di vetro è collocata una persona vivamente illuminata, nascosta agli spettatori, i quali solo ne veggono l'immagine virtuale che presenta loro la lastra di cristallo. Siccome l'immagine presenta tutti i movimenti della persona reale nascosta, perciò l'effetto è sorprendente.

§ 31. Specchi sferici concavi.

1. Gli **specchi sferici**, come si è già detto, possono essere concavi o convessi. Quelli concavi sono ordinariamente formati da un segmento sferico di vetro colla faccia posteriore coperta dell'amalgama, ovvero argentata. Quelli convessi più comuni consistono in globi cavi di vetro, argentati internamente, che si tengono per ornamento nelle case e nei giardini.

2. Definizioni relative. — In uno specchio sferico (fig. 77) si distingue:

1° Il *centro di curvatura*, o *geometrico*, che è il centro (C) della superficie sferica dello specchio.

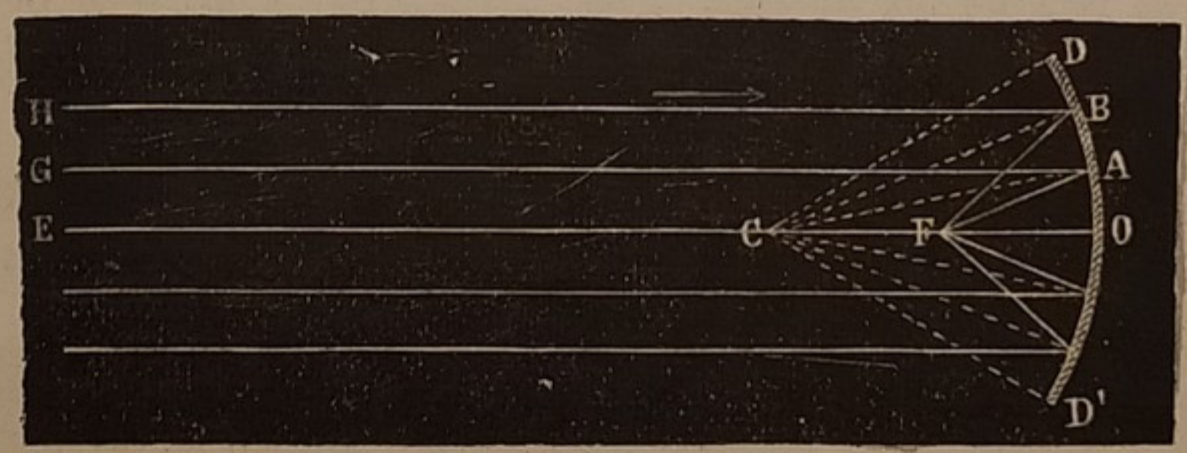


Fig. 77.

2° Il *centro di figura*, o *centro ottico* (O), che è il centro della calotta sferica dello specchio.

3° Il *raggio di curvatura*, cioè il raggio (C O, C A, ecc.) della superficie sferica dello specchio.

4° L'*asse ottico*, o *asse principale*, che è la retta indefinita (E C O) passante pel centro di curvatura (C) e pel centro di figura (O).

5° Gli *assi secondari*, costituiti da qualunque retta (come C A, C B, C D, prolungata indefinitamente) passante pel centro di curvatura (C), ma non pel centro di figura (O).

6° L'*apertura dello specchio*, cioè l'angolo (D C D′) fatto da due raggi di curvatura condotti agli estremi di un diametro dello specchio.

7° La *sezione principale* o *meridiana*, che è la sezione fatta nello specchio da un piano passante per l'asse principale.

8° Infine la *base dello specchio* è il cerchio che ha per diametro la corda dell'arco (D D′) che misura l'apertura dello specchio.

3. Normale alla superficie sferica. — Le leggi della riflessione si applicano agli specchi sferici rammentando che la normale ad una superficie curva in un punto qualunque (A) è la perpendicolare al piano tangente alla detta superficie condotto per quel punto, la quale perpendicolare, nel caso della superficie sferica, passa pel centro (C) di questo, ossia è un raggio (C A) di curvatura.

E nelle figure relative agli specchi sferici si suppone sempre che il piano delle medesime sia una sezione meridiana.

4. Foco principale. — Sieno H B, G A, ecc. (fig. 77) raggi luminosi paralleli fra loro ed all'asse principale E O dello specchio, il quale rappresenta esso pure un raggio luminoso, passante pel centro di curvatura C e pel centro di figura O. Codesti raggi si possono considerare come provenienti da un punto raggiante collocato a distanza infinita, o almeno grandissima, come i raggi che partono da un medesimo punto del sole.

Dapprima, il raggio che si trova sull'asse principale E O, cadendo perpendicolarmente sullo specchio, ritorna indietro nella direzione stessa. Per avere poi la direzione del raggio H B dopo la riflessione, basta condurre pel punto di incidenza B la normale, cioè il raggio di curvatura C B, il quale determina l'angolo d'incidenza H B C, e poi tirare dall'altra parte della normale una retta B F che faccia con C B un angolo C B F = C B H; B F sarà la direzione del raggio riflesso.

Ora, il triangolo C F B è isoscele, perchè gli angoli F C B, F B C sono eguali fra loro essendo ambedue eguali all'angolo C B H, il primo come alterno interno, il secondo per la legge di riflessione. Ma se B è vicino ad O, la differenza fra la retta F B, obliqua alla superficie sferica dello specchio, e F O, normale a tale superficie, è trascurabile; ma F B = F C, dunque F O = F C; ossia il punto F in cui il raggio riflesso incontra l'asse principale si trova tanto

più vicino alla metà del raggio di curvatura C O quanto più il punto d'incidenza B è vicino al centro O dello specchio.

Dunque: *i raggi luminosi paralleli ed assai vicini all'asse principale di uno specchio sferico concavo dopo la riflessione concorrono in un medesimo punto collocato sulla metà del raggio di curvatura dello specchio.*

Concorrono esattamente nello stesso punto i raggi luminosi che cadono sullo specchio tutto intorno al centro O ad eguale distanza del medesimo. Quelli che cadono a distanza minore concorrono in punti più vicini alla metà di C O, per la ragione ora detta, e quelli che cadono più lontano concorrono in punti più vicini allo specchio. Ma se questo ha piccola apertura, di 10 a 12°, i detti punti, in cui concorrono i raggi riflessi, coincidono sensibilmente col punto medio F del raggio di curvatura C O. Ivi si ha perciò una concentrazione di luce e di calore, d'onde il suo nome di *foco*, che si dice *principale*, per distinguerlo da altri fochi che diconsi *coniugati*, come vedremo in seguito.

I raggi che sono abbastanza vicini all'asse principale di uno specchio sferico concavo, per concorrere, dopo la riflessione, sensibilmente sulla metà del raggio di curvatura si dicono *centrali*.

Inversamente se un punto raggiante trovasi nel foco principale, il senso della radiazione è invertito, cioè i raggi incidenti sullo specchio dopo la riflessione divengono paralleli all'asse principale, e danno un foco a distanza infinita, perchè gli angoli di riflessione divengono angoli di incidenza, ed inversamente.

5. Prove sperimentali. — Se in oscura stanza si fa cadere su di uno specchio sferico concavo un fascio cilindrico di raggi solari paralleli all'asse principale, si vede, col mezzo del pulviscolo atmosferico, che i raggi solari riflessi convergono appunto verso un medesimo punto F, che è il foco principale.

Inversamente, se mediante una lente convergente si concentrano dei raggi solari nel foco principale di uno specchio sferico concavo, i raggi divergenti che cadono sul medesimo del detto foco divengono paralleli all'asse principale.

6. Distanza focale principale. — La distanza del foco principale dallo specchio dicesi *distanza focale principale*. Essa, come si è dimostrato, è eguale alla metà del raggio di curvatura.

Perciò si ottiene il raggio di curvatura di uno specchio sferico, misurando la sua distanza focale principale e raddoppiandola.

7. Lanterne e fanali. — Adunque, i raggi che cadono su di uno specchio sferico concavo dal suo foco principale vengono riflessi in direzione parallela all'asse; epperò in tal caso l'intensità della luce riflessa non prova più diminuzione per l'aumento della distanza, ma solo per l'assorbimento atmosferico dei raggi. Sul quale fatto è fondato l'impiego degli specchi concavi per mandare la luce in lontananza, come si fa colle lanterne e fanali.

8. Specchi ustorii. — Se si dirige lo specchio verso il sole, cosicchè i suoi raggi cadano sull'intera superficie di quello, e mediante sostegno si fissa stabilmente nel foco un corpo combustibile, p. es. un fuscello di canapa, lo si vede accendersi.

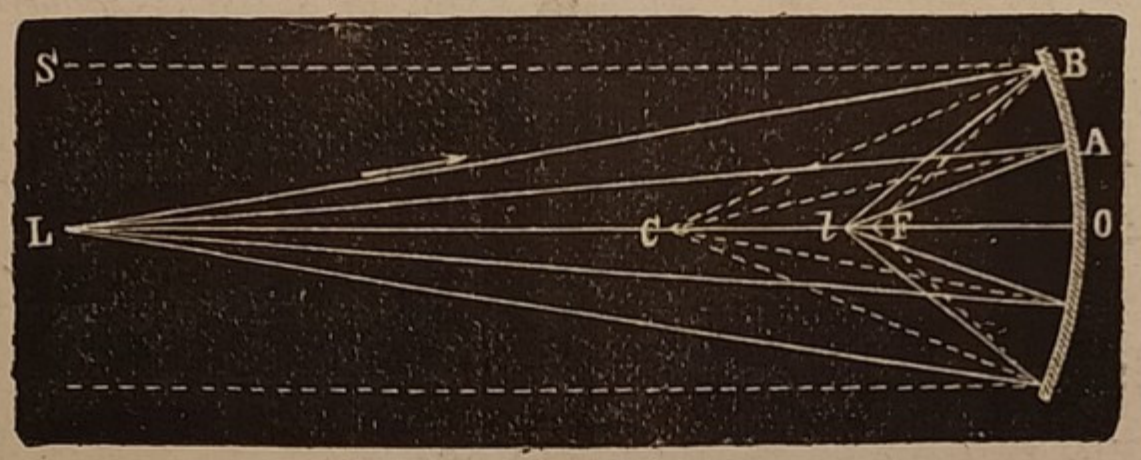


Fig. 78.

Con uno specchio di ottone di 1 *m.* di diametro e un raggio di curvatura di 2 *m.* si ottiene nel foco un calore così intenso da fondere in pochi minuti la silice, il rame, l'argento.

9. Foco coniugato. — Consideriamo ora un punto raggiante collocato in L (fig. 78) ad una distanza finita dallo specchio, in modo che i raggi luminosi che partono dal detto punto arrivino sullo specchio non più paralleli, ma divergenti fra loro.

In questo caso un raggio luminoso qualunque L B fa colla normale C B un angolo d'incidenza L B C minore dell'angolo S B C che farebbe il raggio S B parallelo all'asse principale; perciò il raggio riflesso B *l* deve pure fare colla normale C B un angolo di riflessione C B *l* minore di quello C B F che farebbe il raggio parallelo all'asse, ed incontrare questo in un punto *l* collocato fra il centro C ed il foco principale F.

Se l'apertura dello specchio è piccola, tutti i raggi partiti da L dopo la riflessione concorrono sensibilmente nello stesso punto

l, che si dice *foco coniugato*, poichè, se il punto luminoso viene al posto *l* di tale foco, questo va al posto L del punto luminoso, perchè allora l'angolo *l* B C che prima era di riflessione diviene angolo d'incidenza, e inversamente l'angolo C B L che prima era d'incidenza diviene angolo di riflessione.

Se poi il punto luminoso L si avvicina al centro di curvatura C l'angolo d'incidenza diminuisce, perciò deve pure diminuire l'angolo di riflessione, e quindi il foco coniugato *l* avvicinarsi al centro di curvatura C, finchè, quando il punto luminoso si trova in questo punto, il suo foco coniugato coincide col medesimo, perchè allora gli angoli d'incidenza e di riflessione sono nulli, cioè i raggi incidenti e riflessi sono perpendicolari allo specchio.

Infine, se il punto luminoso oltrepassa il centro C di curvatura, e viene, per es., in *l*, il suo foco si porta in L, come è già stato esposto, finchè quando il punto luminoso viene nel foco principale F, il suo foco coniugato va a distanza infinita, perchè allora i raggi riflessi divengono paralleli all'asse principale.

Quindi si vede che il foco principale si può considerare come il foco coniugato di un punto raggiante a distanza infinita, perchè anch'essi sono reciproci nella posizione.

Dunque: *quando il punto raggiante è collocato fra la distanza infinita e il foco principale, il suo foco è collocato fra il foco principale e la distanza infinita.*

10. Prove sperimentali. — Tutti questi casi si possono verificare sperimentalmente mediante uno specchio sferico e una lente convergente che somministra nel suo foco un punto raggiante.

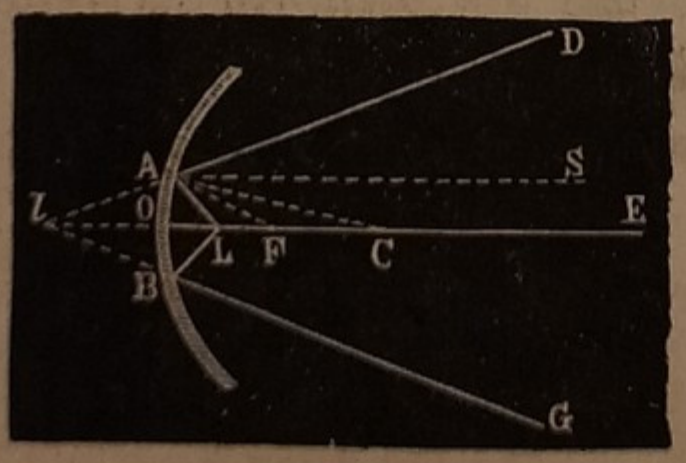


Fig. 79.

11. Foco virtuale. — Infine, consideriamo il caso in cui il punto raggiante L (fig. 79) è compreso fra il foco principale F e lo specchio. Allora un raggio incidente qualunque L A fa colla normale C A un angolo L A C maggiore dell'angolo F A C del raggio che parte dal foco principale. Ma questo raggio dopo la riflessione prenderebbe la direzione A S parallela all'asse O E, perciò il raggio L A dopo la riflessione deve prendere la direzione

A D divergente rispetto all'asse. E siccome altrettanto avviene per tutti gli altri raggi che dal punto luminoso L arrivano sullo specchio, ne risulta che essi, dopo la riflessione, più non si incontrano, e non formano perciò alcun foco reale. Ma prolungati dietro lo specchio si incontrano in un medesimo punto *l* situato sull'asse principale. Perciò l'occhio li riceve come se il punto raggiante fosse in *l*, cioè vede ivi una immagine del medesimo, come avviene negli specchi piani. Il punto *l* è pertanto il *foco virtuale* del punto luminoso L.

Facilmente poi si scorge che, se il punto raggiante L si avvicina allo specchio, il foco virtuale *l* si avvicina pure, fino a venir a coincidere col punto luminoso, quando questo trovasi in contatto dello specchio; e che inversamente, se L si allontana dallo specchio, anche il foco *l* se ne allontana, fino alla distanza infinita, quando L giunge nel foco principale F.

Dunque: *quando i raggi luminosi partono da un punto* (L, fig. 79), *compreso fra il foco principale* (F) *e lo specchio, dopo la riflessione risultano divergenti, come se provenissero da un punto* (*l*) *collocato dietro lo specchio, nel quale si incontrano i loro prolungamenti, e che si dice foco virtuale.*

Il che si può anche provare sperimentalmente.

12. Fochi sugli assi secondarii. — Per intendere come si producono le immagini negli specchi sferici concavi, conviene ancora considerare il caso in cui il punto raggiante L (fig. 80) è collocato fuori dell'asse principale; per determinarne il foco, basta condurre l'asse secondario L C O, che rappresenta un raggio luminoso, il quale, passando pel centro di curvatura C, cade sullo specchio normalmente, e quindi ritorna indietro nella stessa direzione. Indi basta fare su quest'asse le stesse costruzioni geometriche fatte sull'asse principale. Così risulta che, secondo la distanza del punto luminoso dallo specchio, il suo foco si forma sul rispettivo asse secondario L O, o sulla metà del raggio di curvatura, o fra questo punto e la distanza infinita, ovvero dietro lo

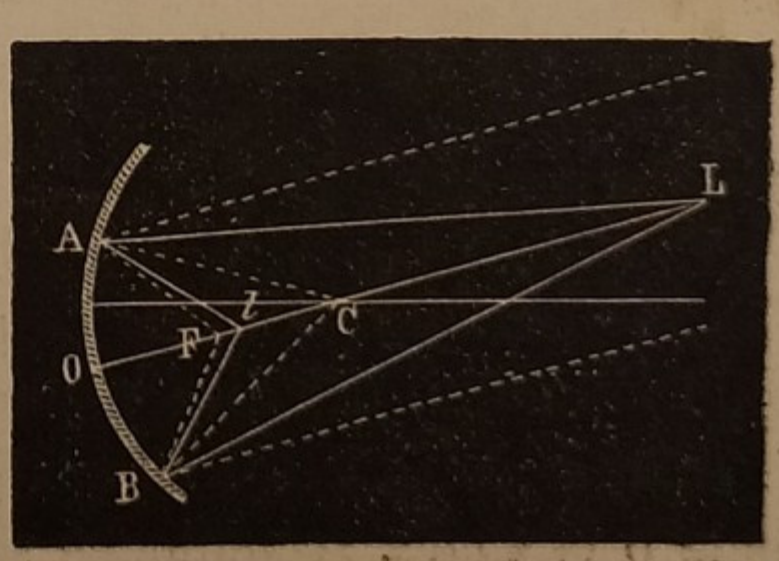


Fig. 80.

specchio, come pei fochi che si formano sull'asse principale, perchè ciò che avviene intorno a questo asse, avviene pure attorno ad un asse secondario L C O, per i punti dello specchio simmetricamente situati rispetto al medesimo, il quale si può considerare come asse principale di quella porzione A B dello specchio che ha per centro di figura il punto O in cui esso è incontrato dall'asse secondario.

13. Formola degli specchi concavi. — Rappresentando rispettivamente:
con p la distanza del punto luminoso dallo specchio,
con q quella del suo foco coniugato dallo stesso,
e con r il raggio di curvatura dello specchio,
si dimostra che fra queste tre grandezze esiste la relazione semplicissima:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{r}$$

dalla quale si deduce:

$$\frac{1}{q}=\frac{2}{r}-\frac{1}{p}$$

$$\frac{1}{q}=\frac{2p-r}{pr}$$

$$q=\frac{pr}{2p-r}$$

$$q=\frac{r}{2-\frac{r}{p}}$$

Dando a p rispettivamente i valori $\infty, r, \frac{r}{2}$ si ottengono per q i valori già noti:

$$\frac{r}{2}, r, \infty.$$

14. Immagini degli oggetti. — Dalla riunione dei fochi o delle immagini dei diversi punti raggianti di un oggetto risulta l'immagine di questo, la quale negli specchi concavi può essere reale o virtuale, secondochè sono reali o virtuali i detti fochi.

15. Immagini reali. — Sia A B (fig. 81) un oggetto collocato dinanzi uno specchio sferico concavo, a distanza maggiore del suo raggio di curvatura. Per determinare l'immagine si conducono dapprima i due assi secondarii A C D, B C E che rappresentano raggi luminosi, i quali cadendo sullo specchio normalmente ritornano indietro nella stessa direzione. Indi si potrebbe ottenere il foco coniugato, od immagine di A, conducendo un raggio inci-

dente qualunque, poi la normale e infine il raggio riflesso, in modo che faccia con essa angolo eguale a quello del raggio incidente. Analogamente per B.

Ma riesce più semplice condurre i raggi A G, B H paralleli all'asse principale, i quali dopo la riflessione passano pel foco principale F, e prolungati vanno ad incontrare gli assi secondarii A D, B E nei punti *a*, *b*, collocati tra il foco principale e il centro di curvatura C, i quali sono fochi coniugati, e immagini reali dei punti luminosi A, B, perchè tutti i raggi partiti da tali punti, dopo la riflessione concorrono sensibilmente in *a*, *b*.

E siccome i raggi emessi dai punti raggianti compresi fra A e B hanno evidentemente i loro fochi fra *a* e *b*, così risulta in *a b* un'immagine reale e rovesciata dall'oggetto A B.

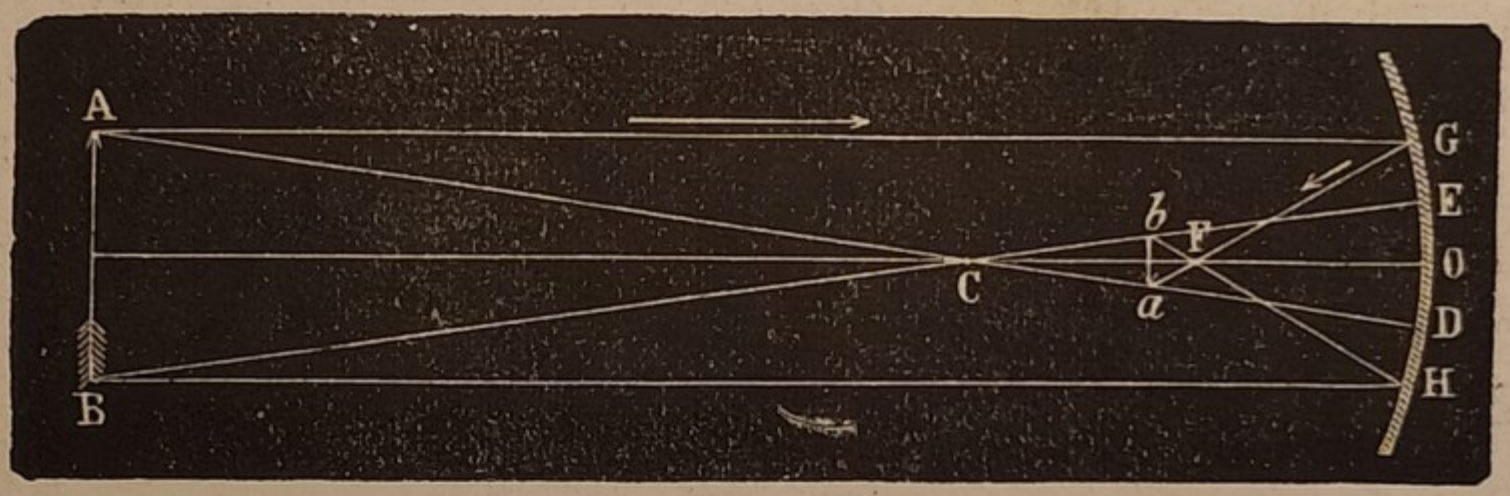


Fig. 81.

Dunque: *l'immagine di un oggetto collocato avanti ad uno specchio sferico concavo a distanza maggiore del suo raggio di curvatura è reale, rovesciata, e si trova fra il foco principale e il centro di curvatura.*

Di più, quest'immagine sarà evidentemente tanto più vicina al foco principale, e quindi tanto più piccola, quanto più l'oggetto è lontano dallo specchio, e cadrebbe precisamente nel detto foco, e sarebbe infinitamente piccola, quando l'oggetto fosse a distanza infinitamente grande.

Il foco principale di uno specchio sferico concavo su cui cadono i raggi solari non è altro appunto che un'immagine reale, rovesciata e piccolissima del disco solare, collocato a distanza grandissima.

Inversamente, se l'oggetto si avvicina allo specchio, i fochi dei suoi punti luminosi se ne allontanano e così pure l'immagine,

la quale diviene ad un tempo più grande, perchè cresce l'angolo A C B formato dagli assi secondari, finchè quando l'oggetto si trova nel centro di curvatura C, la sua immagine, sempre rovesciata, si trova pure ivi, e ha la stessa grandezza dell'oggetto, perchè in tale caso la distanza dei fochi coniugati dallo specchio è eguale a quella dei rispettivi punti luminosi.

Se poi l'oggetto viene in *a b* al posto dell'immagine, ossia, se *a b* rappresenta l'oggetto, A B ne rappresenta l'immagine, la quale è sempre reale e rovesciata, ma tanto più grande dell'oggetto, quanto più questo è vicino al foco principale dello specchio, perchè così più lontano convergono i raggi riflessi.

Che se l'oggetto viene nel foco principale, non si produce più veruna immagine, perchè i fochi coniugati dei punti luminosi si formano a distanza infinita dello specchio.

Riassumendo risulta: 1° *negli specchi sferici concavi l'immagine è reale quando l'oggetto è collocato fra il foco principale e la distanza infinita;* 2° *l'immagine reale è sempre rovesciata;* 3° *ha la stessa grandezza dell'oggetto quando la distanza di questo dallo specchio è eguale al raggio di curvatura; è maggiore dell'oggetto quando questo è fra il foco principale e il centro di curvatura; è minore dell'oggetto quando questo è fra il centro di curvatura e la distanza infinita.*

16. Prove sperimentali. — Si verificano sperimentalmente le enunciate proposizioni ponendo, per es, una fiamma a varie distanze avanti ad uno specchio concavo, e poi collocando, nel luogo in cui si produce l'immagine, un diaframma di carta, piccolo o grande, secondo la grandezza dell'immagine.

Di più, le immagini reali date dagli specchi concavi non solo si lasciano vedere per proiezione su un diaframma ma appaiono anche sospese nell'aria a chi ponga l'occhio nella direzione dei raggi riflessi.

Sul quale fatto è fondato il seguente grazioso esperimento.

Si colloca una scatola di legno tappezzata di nero nell'interno, coll'asse maggiore verticale, su una tavola, e colla cavità rivolta ad uno specchio sferico concavo, ad una distanza da questo eguale al suo raggio di curvatura. Nell'interno della scatola si sospende pel gambo un mazzo di fiori in modo che sia capovolto e un poco al disotto del centro di curvatura dello specchio. Infine

si posa un vaso di fiori diritto sulla parete superiore della scatola. Così lo specchio produce un'immagine aerea, reale e diritta del mazzo di fiori rovesciato nascosto nella scatola, la quale pare collocata sopra il vaso ad un occhio collocato sul prolungamento dei raggi che concorrono a formare l'immagine.

17. Immagine virtuale. — Consideriamo infine il caso in cui l'oggetto A B è collocato tra il foco principale F e lo specchio. Per determinare l'immagine si conduce un raggio incidente A D (fig. 82) parallelo all'asse principale, il qual raggio dopo la riflessione passa pel foco F, e prolungato dietro lo specchio incontra l'asse secondario C A in un punto *a* che è il foco virtuale di A.

Analogamente si ottiene il foco virtuale *b* di B. E siccome i fochi dei punti raggianti compresi fra A e B si formano fra *a* e *b*, risulta in *ab* un'immagine *virtuale, diritta, ingrandita.*

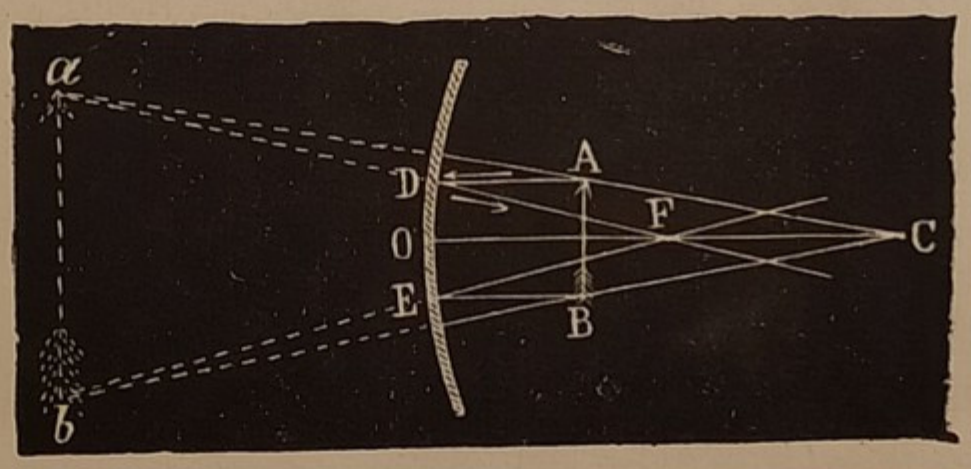


Fig. 82.

Questa immagine è tanto più lontana dallo specchio, e più grande, quanto più l'oggetto è vicino al foco principale, perchè i raggi riflessi risultano meno divergenti rispetto ai loro assi secondarii e quindi i loro prolungamenti incontrano questi in punti più lontani.

Inversamente, se l'oggetto si avvicina allo specchio, la sua immagine si avvicina pure e diviene più piccola, perchè i raggi riflessi risultano più divergenti rispetto ai loro assi secondarii, e quindi i loro prolungamenti incontrano questi in punti più vicini allo specchio, finchè quando l'oggetto è in contatto di questo, l'immagine è pure a contatto ed ha la stessa grandezza di quello.

Dunque: *quando un oggetto è collocato dinanzi ad uno specchio sferico concavo, fra questo e il suo foco principale,*

risulta un'immagine virtuale, diritta, e tanto più grande dell'oggetto, quanto più questo è vicino al foco principale.

Il che si prova spostando una fiamma fra il foco principale e lo specchio.

§ 32. Specchi sferici convessi.

1. Foco dei raggi paralleli. — Sia A B (fig. 83) un raggio incidente parallelo all'asse principale S C di uno specchio sferico convesso B H. Per avere la direzione del raggio riflesso, si

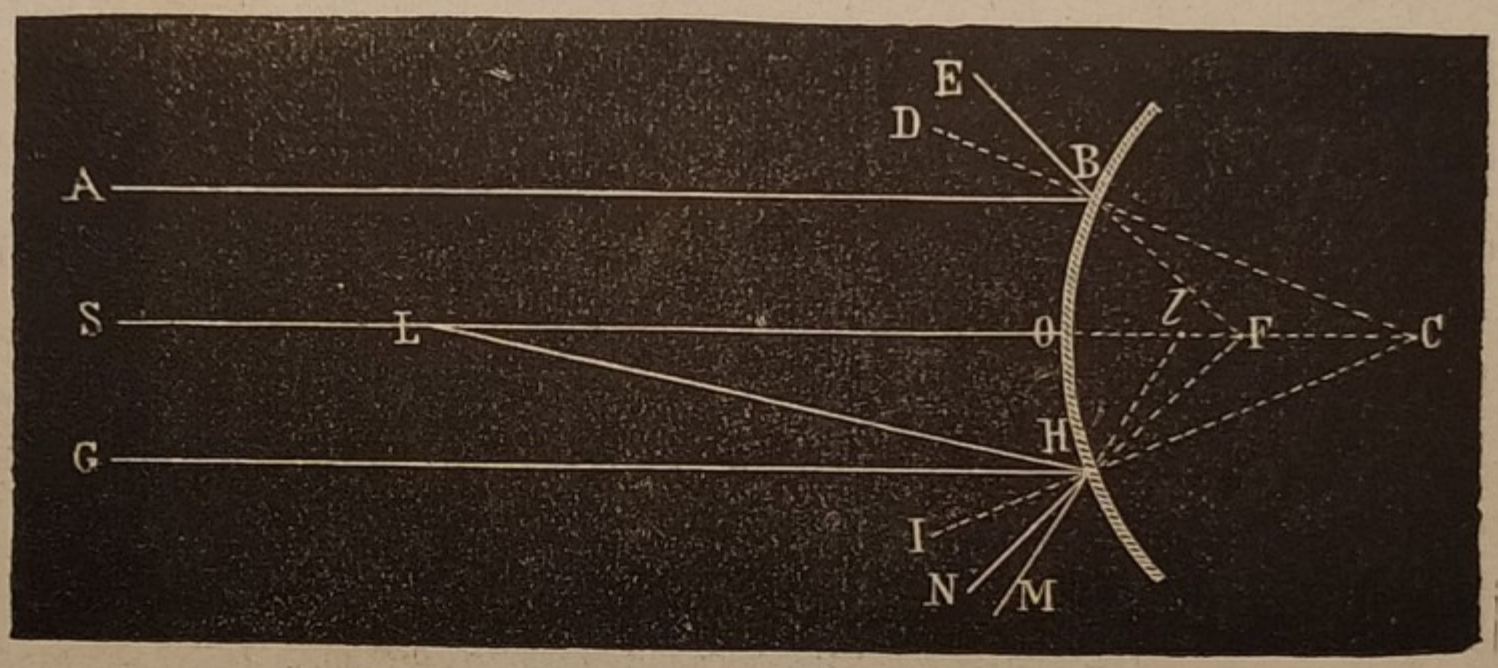


Fig. 83.

conduce la normale C B D che determina l'angolo d'incidenza A B D, quindi si costruisce dall'altra parte della medesima un angolo D B E = A B D; e così si ottiene la direzione E B del raggio riflesso. Ora, se si prolunga questo dietro lo specchio, esso viene ad incontrare il prolungamento dell'asse principale in un punto F, tanto più prossimo alla metà del raggio di curvatura C O, quanto più il raggio incidente A B è vicino all'asse principale: il che si dimostra come per gli specchi sferici concavi.

Similmente avviene pel raggio simmetrico G H, e per tutti gli altri poco distanti dall'asse principale.

Quindi: *un fascio di raggi paralleli, cioè partiti da un punto a distanza infinita da uno specchio sferico convesso, dopo la riflessione si converte in un fascio conico divergente che ha il suo vertice sulla metà* F *del raggio di curvatura.*

Questo punto si dice *foco virtuale principale.*

Se in una camera oscura si fa arrivare su di uno specchio convesso un fascio di raggi solari paralleli all'asse principale, si vede appunto che dopo la riflessione essi formano un fascio conico divergente, il quale ha il suo vertice sulla metà del raggio di curvatura dello specchio.

2. Foco dei raggi divergenti. — Sia L (fig. 83) un punto raggiante collocato a distanza finita da uno specchio sferico convesso. In questo caso un raggio luminoso incidente L H, fa colla normale C H I un'angolo d'incidenza L H I maggiore di quello che fa colla stessa normale il raggio parallelo G H, perciò dovrà fare un angolo di riflessione I H M maggiore di quello del raggio parallelo; ma questo prolungato va ad incontrare l'asse principale nel foco F, dunque il raggio divergente prolungato deve incontrare l'asse principale in un punto *l* collocato tra il foco F e lo specchio, e tanto più prossimo a questo quanto più il punto luminoso è vicino allo specchio, perchè cresce l'angolo di incidenza e quindi anche quello di riflessione. Lo stesso avviene per tutti i raggi che partono da L finchè l'apertura dello specchio è piccola.

Dunque: *quando i raggi luminosi partono da un punto a distanza finita da uno specchio sferico convesso, cosicchè arrivino su questo divergenti, risulta un foco virtuale, il quale è tanto più vicino allo specchio, quanto più vicino a questo è il punto luminoso.*

3. Formola degli specchi convessi. — Ritenendo gli stessi simboli usati per gli specchi sferici concavi, si dimostra che in quelli convessi esiste la relazione:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{q} = -\frac{2}{r}$$

dalla quale si deduce:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{p} + \frac{2}{r},$$

$$\frac{1}{q} = \frac{r + 2p}{p\,r},$$

$$q = \frac{p\,r}{2\,p + r},$$

$$q = \frac{r}{2 + \frac{r}{p}}.$$

Dando a p rispettivamente i valori ∞ e 0, si ottengono per q i valori gia noti: $\frac{r}{2}$ e 0.

4. Immagine di un oggetto. — Rappresenti A B (fig. 84) un oggetto collocato avanti ad uno specchio sferico convesso ad una distanza qualunque. Per determinarne l'immagine si conducono gli assi secondarii A C, B C, i quali rappresentano due raggi incidenti sullo specchio perpendicolarmente al medesimo. Indi, per determinare i fochi dei punti A B, si conducono i raggi incidenti A D, B E, paralleli all'asse principale C O, i quali dopo la riflessione prendono le direzioni D G, E H passanti pel foco virtuale principale F, e si prolungano punteggiati dietro lo specchio finchè incontrino gli assi secondarii A C, B C nei punti *a b*, che sono i fochi virtuali coniugati di A, B. Siccome i fochi dei punti raggianti intermedi fra A e B si formano nei punti intermedi fra

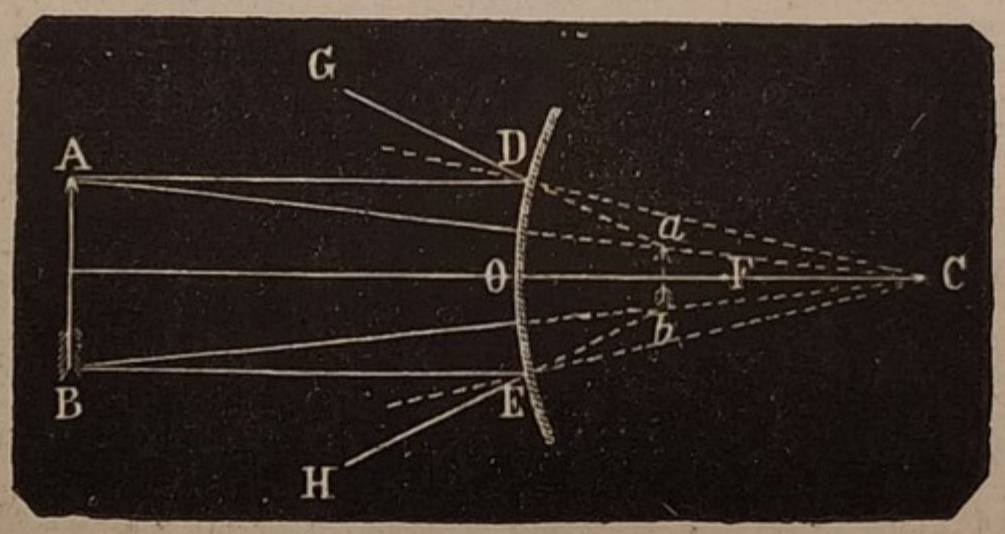


Fig. 84.

a e *b*, così risulta in *a b* un'immagine *virtuale*, *diritta*, e *tanto più piccola quanto è più vicina al foco principale* F, ossia quanto più l'oggetto è lontano dallo specchio.

Dunque: *le immagini date dagli specchi convessi sono virtuali, diritte, e tanto più piccole dell'oggetto, quanto più questo è lontano dallo specchio.*

5. Prova sperimentale. — Guardando in uno specchio sferico convesso, per es. in un globo di vetro argentato internamente, come quelli che si tengono per ornamento nelle case e giardini, appare dentro lo specchio la nostra immagine diritta, e tanto più piccola quanto più si sta lontano. Però essa riesce alquanto deformata, perchè le diverse parti del nostro corpo appaiono più o meno impicciolite secondochè sono più o meno lontane dallo specchio.

Questa deformazione è tanto più sensibile quanto più si avvicina il viso allo specchio.

Così pure, guardando da vicino negli occhi altrui, vediamo la nostra immagine piccola e diritta, perchè la così detta *cornea trasparente*, che riveste l'occhio nella sua parte anteriore, riflette alquanta luce e fa da piccolo specchio convesso.

Infine, anche i riflessi di luce che si vedono sulle campane ed altri oggetti di vetro o di forbito metallo, altro non sono che immagini virtuali, più o meno contraffatte, delle finestre o del sole, prodotte dalle svariate curvature di quelle superficie.

§ 33. Rifrazione della luce.

1. Fenomeno della rifrazione. — Tutti sanno che un bastone immerso obliquamente nell'acqua appare spezzato, cioè che la parte immersa appare in una direzione che fa un angolo con quella della parte emersa. Se invece il bastone è perpendicolare alla superficie dell'acqua, allora non appare spezzato.

Questo fenomeno è un caso particolare di un altro più generale denominato *rifrazione della luce*, il quale consiste in ciò che: *quando i raggi luminosi passano obliquamente da un mezzo in un altro cangiano direzione, cioè si piegano, avvicinandosi od allontanandosi dalla perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi.*

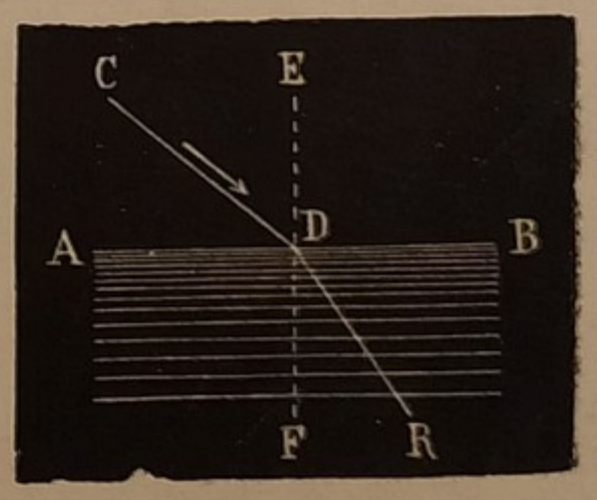


Fig. 85.

Così se A B (fig. 85) rappresenta la superficie di separazione di due mezzi, per es. aria e acqua, C D la direzione di un raggio incidente obliquamente su quella superficie, E F la perpendicolare alla medesima condotta pel punto d'incidenza D, il raggio nell'acqua si piega e prende una direzione D R più vicina alla perpendicolare.

Inversamente, il raggio R D passando dall'acqua nell'aria si allontana dalla perpendicolare secondo la direzione D C.

La deviazione o rifrazione avviene solo quando il raggio è obliquo alla superficie di separazione dei due mezzi. Se esso ha la direzione della perpendicolare E F, non è deviato, tanto all'ingresso, quanto nell'egresso.

Quando i raggi passando nel secondo mezzo si avvicinano alla perpendicolare si dice che esso è *più rifrangente* del primo: quando invece i raggi *si allontanano dalla perpendicolare* lo si dice *meno rifrangente*. Così l'acqua, il vetro, ecc., sono più rifrangenti che l'aria.

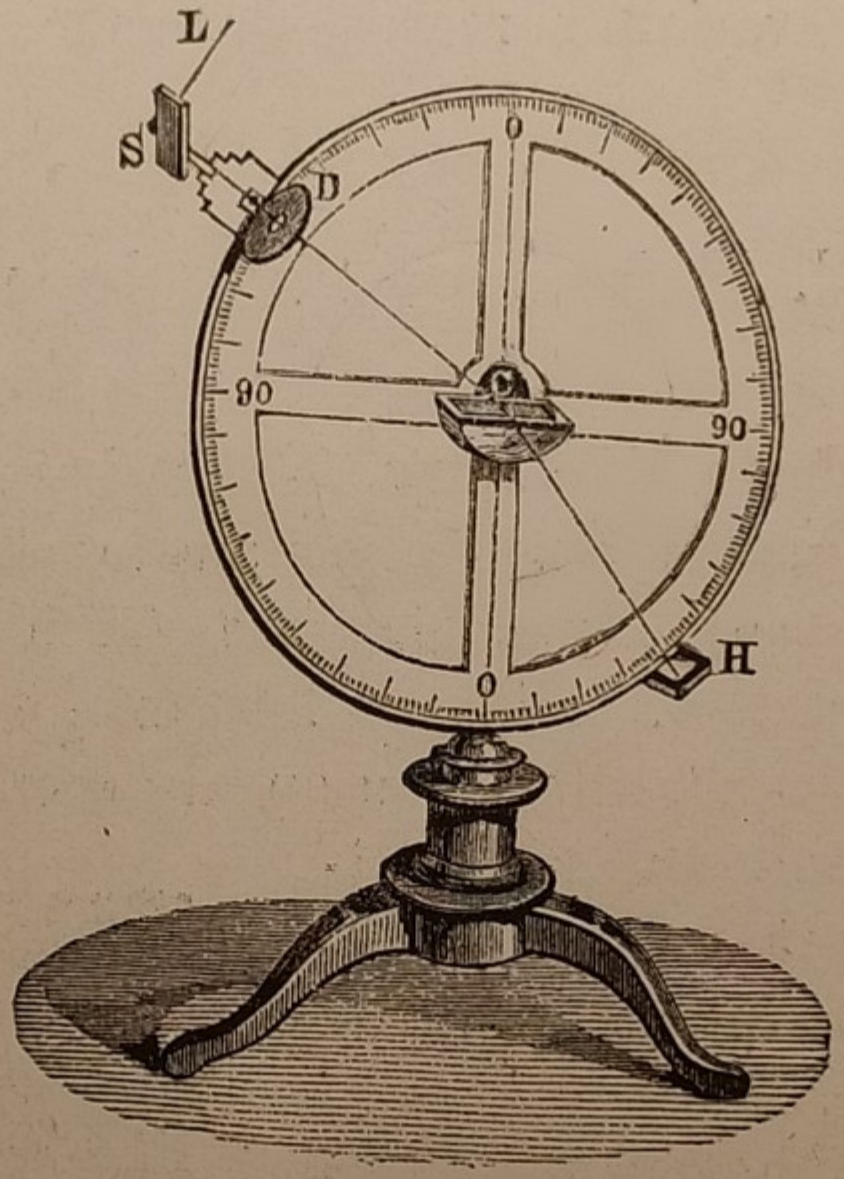


Fig. 86.

In generale per uno stesso corpo, per es. uno stesso gas, la rifrazione cresce colla densità, ma non è così per corpi diversi. Così l'alcool, meno denso dell'acqua, è più rifrangente; invece l'acido solforico più denso che l'acqua è meno rifrangente di questa.

2. Prova sperimentale della rifrazione. — Si usa ordinariamente a questo scopo il cerchio graduato che serve per la riflessione, al centro del quale si colloca, invece dello specchio, un recipiente semicilindrico (C, fig. 86) in cui si versa dell'acqua. Indi si fa cadere un piccolo fascio di luce solare obliquamente sulla superficie del liquido, nella direzione di un raggio D C del cerchio, e si vede che il fascio nell'acqua prende una direzione

C H più vicina al diametro verticale O O del cerchio. Inversamente, se si manda un fascio luminoso nell'acqua nella direzione H C, esso passando obliquamente dall'acqua nell'aria prende la direzione C D, più lontana dal diametro verticale O O del cerchio.

Invece il fascio entrando od uscendo dall'acqua perpendicolarmente alla sua superficie non devia.

3. Angoli d'incidenza e di rifrazione. — L'*angolo* C D E (fig. 85) *che il raggio incidente* (C D) *fa colla perpendicolare* (E F), si dice: *angolo d'incidenza*, e l'*angolo* (R D F), *che il raggio rifratto* (D R) *fa colla stessa perpendicolare*, chiamasi: *angolo di rifrazione.*

4. Seno di un angolo. — Per esprimere esattamente le leggi della rifrazione bisogna conoscere che cosa si intende per *seno di un angolo*. Perciò suppongasi che col centro C (fig. 86) e il raggio C O preso come unità venga descritta una circonferenza C H D e poi che dai punti D, H d'intersezione dei raggi C D, C H colla circonferenza vengano abbassate due perpendicolari sul diametro O O che passa per l'origine dei due archi O D, O H, che misurano rispettivamente l'angolo di incidenza D C O, e l'angolo di rifrazione H C O. La lunghezza di ciascuna perpendicolare rispetto al raggio C O preso per unità, chiamasi rispettivamente *seno* dell'angolo d'incidenza e di rifrazione.

Dalla figura si vede pure che il massimo valore del seno è l'unità, cioè il raggio stesso della circonferenza, che è il seno dell'angolo di 90°.

Il seno si indica colla sillaba *sen*.

5. Leggi della rifrazione. — Il fenomeno della rifrazione obbedisce alle seguenti leggi:

1° *Qualunque sia l'obliquità del raggio incidente* (fig. 86) *il rapporto fra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante per due mezzi, e varia solo col mutare di questi.*

2° *Il raggio rifratto giace nel piano determinato dal raggio incidente e dalla perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi.*

3° *Il raggio rifratto e il raggio incidente stanno dall'opposta parte della superficie di separazione dei due mezzi e della perpendicolare a questa.*

6. Indice relativo di rifrazione. — *Il rapporto costante fra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione di un raggio che passa da un mezzo in un altro* si dice: *indice di rifrazione relativo* alle due sostanze; e rappresentando:

con i l'angolo d'incidenza,
» r l'angolo di rifrazione,
» n il rapporto dei seni, o indice,

si scrive: $$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n \ldots\ldots$$

Per l'aria e l'acqua si ha . . . . $n = \frac{4}{3} = 1{,}3$ circa,

» e il vetro ordinario (*) è $n = \frac{3}{2} = 1{,}5$ circa,

» e il diamante è . . . . $n = \frac{5}{2} = 2{,}5$ circa.

L'indice di rifrazione è un numero costante per gli stessi mezzi, qualunque sia l'obliquità dei raggi incidenti, ma variabile col variare dei mezzi. Esso è perciò un numero caratteristico pei diversi corpi, e che serve a distinguerli.

Indice di rifrazione di alcune sostanze.

Etere	1,36
Alcool	1,37
Essenza d'anice	1,57
Balsamo del Canadà	1,53
Benzole	1,50
Cristallo di rocca	1,56
Essenza di cassia	1,64

(*) Il vetro da finestre è composto di silice, soda e calce; quello delle bottiglie di silice, soda, calce, allumina e ferro. Il vetro di Boemia e il *crown-glass* constano di silice, potassa e calce: il cristallo ordinario di silice, potassa e ossido di piombo. Il *flint-glass* è composto di silice, potassa e ossido di piombo, ma è più ricco di questo metallo che il cristallo. Finalmente si fa ancora un cristallo più ricco di piombo che il flint, e chiamasi *strass*.

Vetro crown	da 1,53 a 1,63
Diamante	2,47
Cristallo flint (contenente piombo)	da 1,62 a 1,79
Vetro comune	1,53
Solfuro di carbonio	1,67
Essenza di trementina	1,48
Acqua	1,34

7. Indice inverso o indice di ritorno. — Se il raggio passa dal mezzo più rifrangente in quello meno rifrangente, per esempio dall'acqua nell'aria, permodochè R D (fig. 85) sia il raggio incidente e quindi R D F l'angolo *i* d'incidenza, D C sarà il corrispondente raggio rifratto, e C D E l'angolo *r* di rifrazione, ossia l'angolo che prima era di rifrazione diviene angolo d'incidenza, ed inversamente. Perciò la formola generale diventa: $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{1}{n}$, il che equivale ad invertire l'indice, che perciò si dice *indice inverso*, o *indice di ritorno*

8. Causa della rifrazione nella teoria delle ondulazioni. — La teoria delle ondulazioni dimostra che *il fenomeno della rifrazione dipende da una diminuzione della velocità della luce nel mezzo più rifrangente,* e che *il rapporto dei seni, o l'indice di rifrazione, è precisamente uguale al rapporto delle velocità della luce nei due mezzi.* Cioè rappresentando

con V la velocità della luce nel mezzo meno rifrangente,
con *v* la velocità nel mezzo più rifrangente, si ha:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n = \frac{\text{V}}{v}.$$

Per es. per l'aria e l'acqua si ha:

$$\frac{\text{V}}{v} = \frac{4}{3}.$$

D'onde si ricava $v = {}^3/_4$ V; cioè la velocità della luce nell'acqua è $^3/_4$ di quella nell'aria; il che venne dimostrato sperimentalmente da Fizeau e Foucault.

E siccome nell'aria la velocità della luce è presso a poco, come nell'etere libero, 300 milioni di metri per secondo, ne consegue che la velocità della luce nell'acqua è $^3/_4$ di 300 milioni, cioè 225 milioni di metri. Parimente l'indice di rifrazione del vetro crown essendo $^3/_2$, la velocità della luce in questo mezzo è $^2/_3$ di 300 milioni, cioè 200 milioni di metri.

9. Rifrazione attraverso un mezzo a faccie piane parallele. — Siano M N, P Q (fig. 87) le superfici parallele di un mezzo trasparente qualunque più rifrangente dell'aria, A B un raggio incidente, C D la normale alla faccia M N condotta pel punto di incidenza B, i l'angolo di incidenza A B C; la figura fa chiaramente vedere l'andamento della luce attraverso la lastra.

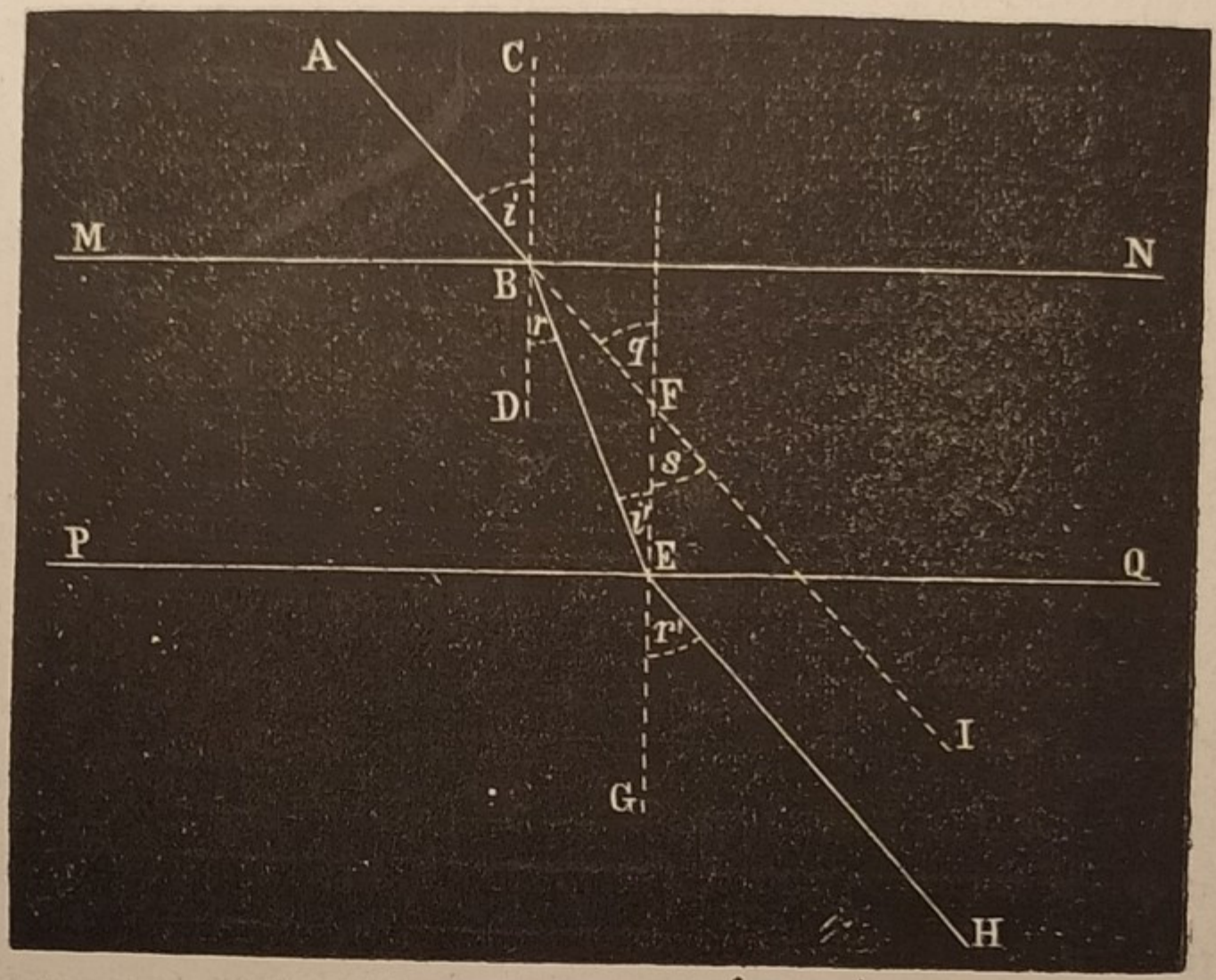


Fig. 87.

Avremo evidentemente;

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n, \quad \frac{\text{sen } i'}{\text{sen } r'} = \frac{1}{n},$$

d'onde:

$$\frac{\text{sen } r'}{\text{sen } i'} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}.$$

ed essendo eguali gli angoli r, i', ambidue minori di 90°, saranno pure eguali i loro seni, cioè: sen r = sen i'. Quindi per essere eguali i divisori dei due quozienti eguali, dovranno pure essere eguali i dividendi, cioè: sen r' = sen i, e perciò $r' = i$.

Ora siccome il lato E G è parallelo a B C dovrà essere E H parallelo ad A B.

Dunque: *un raggio luminoso attraversando un mezzo a faccie piane parallele esce in direzione parallela al raggio incidente, e quindi non è deviato.*

Dalla costruzione fatta si scorge ancora che la distanza fra la direzione EH del raggio emergente e quella AB del raggio incidente cresce col crescere della distanza fra PQ ed MN, cioè della grossezza o spessore del mezzo; come pure col crescere dell'indice di rifrazione, perchè con questo il punto E si allontana da AI, ed infine col crescere dell'angolo d'incidenza ABC, perchè, se detto angolo fosse nullo, non si avrebbe rifrazione nè spostamento.

Dunque: *mentre i raggi luminosi attraversanti un mezzo a facciepiane parallele non sono deviati, vengono però alquanto spostati lateralmente, e lo spostamento cresce col crescere della grossezza del mezzo, dell'indice di rifrazione e dell'angolo d'incidenza.*

§ 34. Fenomeni dipendenti dalla rifrazione.

1. Sollevamento apparente del fondo di un recipiente contenente un liquido. — Se si pone una moneta *s* (fig. 88) sul fondo di un recipiente a pareti opache, e si colloca l'occhio (*o*) per modochè il raggio che parte dal punto estremo (*s*) dell'oggetto e rasenta l'orlo del vaso non possa entrare nella pupilla, perchè collocata alquanto al di sotto del detto raggio, versando poi acqua nel recipiente senza spostare la moneta, questa diviene visibile, come se venisse sollevata.

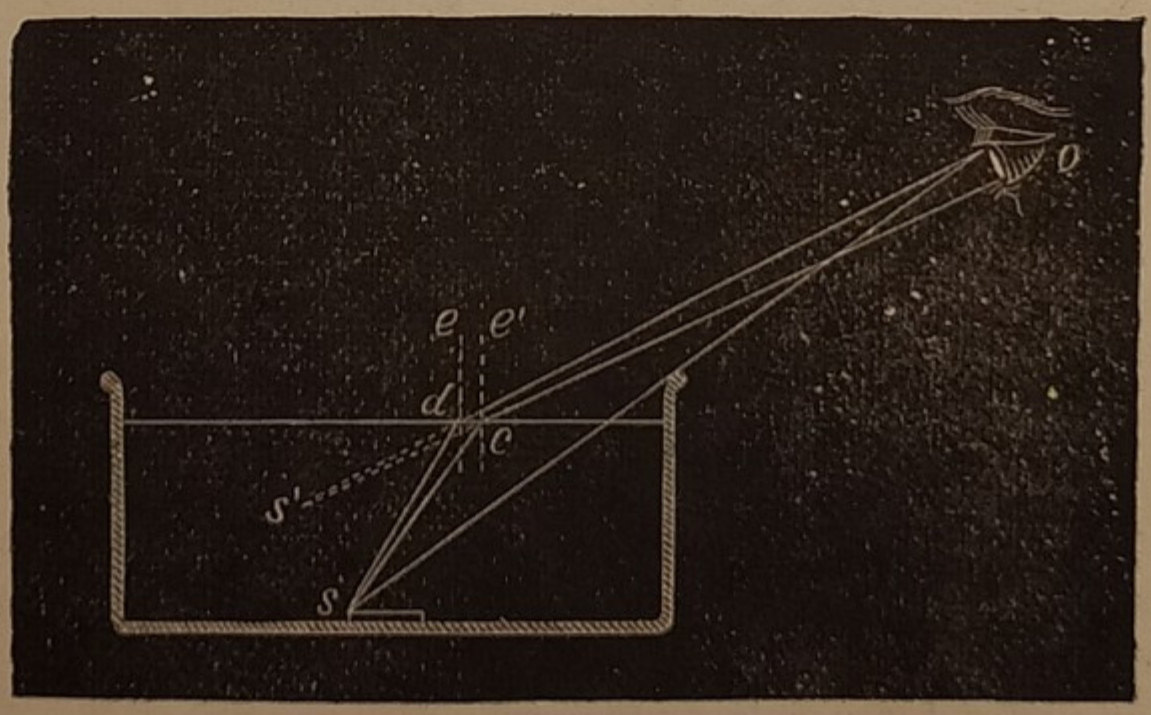


Fig. 88.

Ciò avviene perchè, dopo versata l'acqua, vi sono altri raggi, *s d*, *s c* i quali passando dal liquido nell'aria si allontanano dalle rispettive perpendicolari *d e*, *c e'* condotte pei punti di incidenza, e prendono le direzioni *d o*, *c o*, cosicchè possono allora entrare nell'occhio.

Di più, questo vede il punto luminoso *s* nel luogo *s'* in cui s'incontrano i raggi rifratti, il quale giace al di sopra del punto *s*, sia perchè i raggi emergenti essendosi abbassati paiono venir dal punto *s'* più elevato, sia perchè il fascio emergente *d c o* è alquanto più divergente del fascio incidente *s d e*, essendo il raggio *s c*, che fa colla normale *c e'* un angolo alquanto maggiore di quello del raggio *s d* colla rispettiva normale, alquanto più deviato di questo, e perciò i prolungamenti dei raggi rifratti si incontrano in un punto più vicino a *d* del punto *s*.

Permodochè avviene per l'occhio uno spostamento apparente del punto luminoso non solo in senso verticale, ma anche in direzione orizzontale. Il 1° per l'acqua è circa $^1/_4$ dell'altezza di questa, sul punto luminoso, e il 2° è nullo quando si osserva l'oggetto perpendicolarmente alla superficie del liquido.

Perciò le acque dei fiumi, laghi, ecc., appaiono meno profonde del vero (circa $^1/_4$).

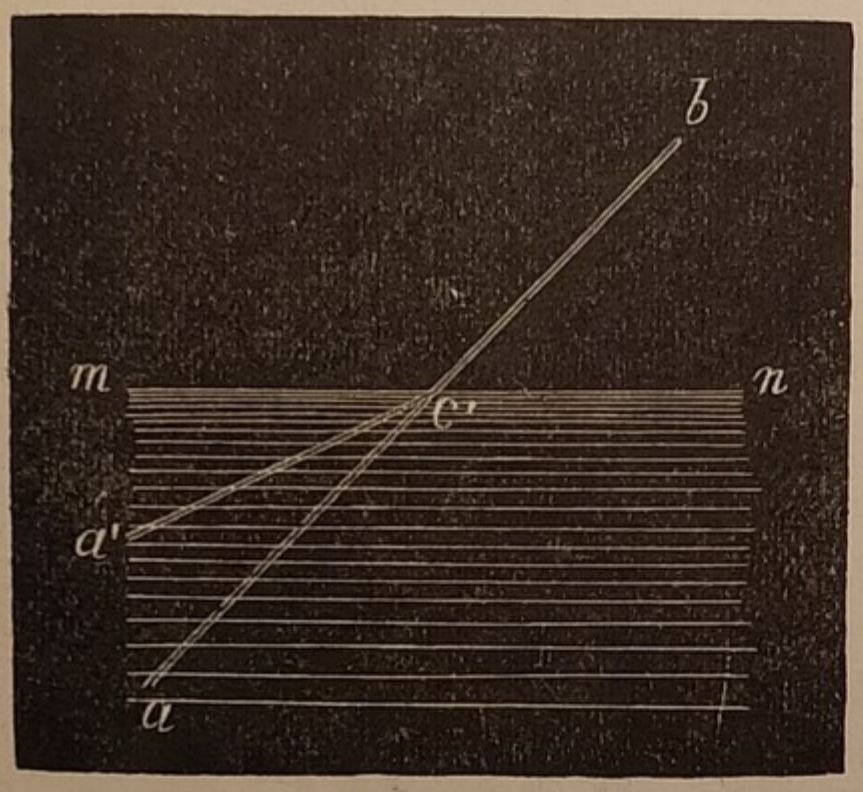


Fig. 89.

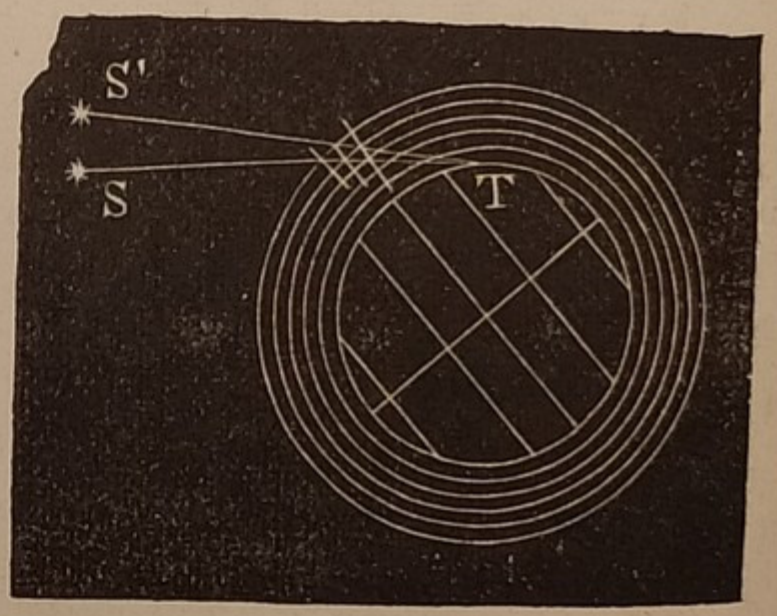


Fig. 90.

2. Piegamento apparente di un bastone. — Così pure, *un bastone a b* (fig. 89) *parzialmente ed obliquamente immerso nell' acqua appare spezzato ed accorciato*, perchè l'estremità *a* appare sollevata in *a'*, e quindi i punti compresi fra *a* e *c'* appaiono sulla linea *a' c'*, che fa un angolo colla direzione *c' b* del bastone nell'aria, e che è più corta di *a c'*.

3. Rifrazione atmosferica. — Siccome gli strati aerei crescono di densità dall'alto in basso, e col crescere della densità di uno stesso gas cresce il suo indice di rifrazione, così ogni raggio di luce che parte da un astro S (fig. 90) collocato all'orizzonte di un luogo T, attraversando gli strati atmosferici obliquamente, devia in modo continuo, avvicinandosi alle perpendicolari alle superficie di separazione degli strati, successivamente più densi e più rifrangenti, e perciò descrive una curva concava verso il basso, come indica la figura, ed entra poi nell'occhio di un osservatore collocato in T come se provenisse da un punto S' più elevato del punto S da cui è partito. Il sollevamento è massimo quando l'astro è all'orizzonte, e nullo quando è allo zenit di un luogo.

Però nei nostri paesi la rifrazione all'orizzonte è solo circa $^1/_2$ grado, o 34′. E siccome il diametro apparente del sole è solo di circa 32′, consegue che quest'astro all'orizzonte viene sollevato di un' altezza superiore al suo diametro; cosicchè lo si vede ancora tutto intiero un istante dopo che è sotto il nostro orizzonte; e così pure al mattino lo si vede un istante prima che esso si trovi realmente sull' orizzonte. Lo stesso avviene per la luna.

E può accadere, in un eclisse lunare, quando la terra si trova in linea retta tra il sole e la luna, che ambi questi astri sieno visibili ad un tempo, poichè anche negli eclissi totali la luna non cessa di essere visibile, non oscurandosi completamente.

4. Sollevamento apparente dei monti. — Così pure, per effetto della rifrazione atmosferica, i monti ci appaiono alquanto più alti del vero, e sui luoghi elevati si gode di un orizzonte alquanto più esteso di quello che si avrebbe senza la rifrazione.

Di tale sollevamento apparente degli oggetti prodotto dalla rifrazione atmosferica devesi tenere conto nelle misure geodetiche delle altezze.

5. Movimento apparente degli oggetti. — Infine guardando gli oggetti attraverso l'aria sovrastante ad una superficie calda, come per es. un braciere di carboni ardenti, appare un *tremolìo*, il quale è dovuto ai piccoli cangiamenti di direzione che provano i raggi luminosi attraverso l'aria riscaldata ed agitata sovrastante.

Quando la superficie dell'acqua ha un moto ondulatorio gli oggetti collocati in essa appaiono muoversi perchè i raggi che ne escono con inclinazione variabile paiono procedere da punti la cui posizione varia.

Di più, un oggetto immerso può apparire doppio perchè l' occhio può contemporaneamente ricevere raggi che escono dall' acqua perpendicolarmente e altri che ne escono obliquamente, e quindi con diversa deviazione.

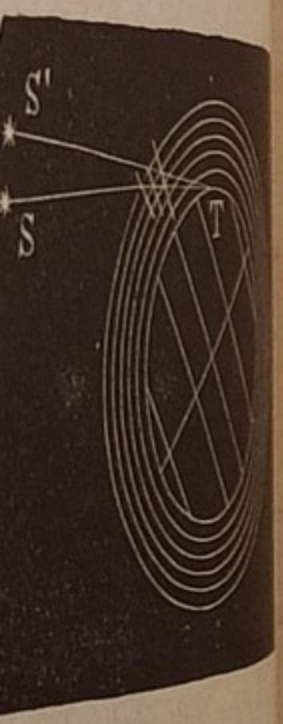


Fig. 90.

§ 35. Angolo limite e riflessione totale.

1. Angolo limite. — Si è notato (pag. 188) che quando un raggio di luce passa da un mezzo più rifrangente in uno meno rifrangente, per esempio, dall'acqua nell'aria, l'angolo di rifrazione deve essere maggiore dell'angolo d'incidenza. Perciò, in tal caso, vi deve essere un angolo di incidenza minore di 90° cui corrisponde un angolo di rifrazione precisamente di 90°.

L'angolo d'incidenza cui corrisponde un angolo di rifrazione retto si dice *angolo limite*.

2. Come si determina il valore numerico dell'angolo limite. — *Per trovare il valore dell'angolo limite l* per due sostanze si deve osservare che in questo caso la luce passando dal

mezzo più rifrangente in quello meno rifrangente deve esistere la relazione:

$$\frac{\text{sen } l}{\text{sen } r} = \frac{1}{n},$$

ossia

$$\text{sen } l = \frac{1}{n} \text{ sen } r.$$

Ma l'angolo r essendo allora di 90°, siccome sen 90° = 1 (raggio), risulta:

$$\text{sen } l = \frac{1}{n},$$

il che significa che *il seno dell'angolo limite è uguale al valore reciproco dell'indice di rifrazione.*

Così per l'aria e l'acqua essendo $n = \frac{4}{3}$ e perciò $\frac{1}{n} = \frac{3}{4}$, si ha:

$$\text{sen } l = \frac{3}{4} = 0{,}75.$$

Ora, l'angolo il cui seno è 0,75 del raggio è quello di 48°, 35′; perciò questo è l'angolo limite per l'acqua e l'aria.

Per l'aria e il vetro ordinario essendo $n = \frac{3}{2}$, si ha:

$$\text{sen } l = \frac{1}{n} = \frac{2}{3}.$$

Ora, l'angolo il cui seno è $\frac{2}{3}$ del raggio è quello di 42° circa.

3. Riflessione totale. — Quando l'angolo d'incidenza dei raggi luminosi che passano da un mezzo più rifrangente in un mezzo meno rifrangente è maggiore dell'angolo limite, siccome l'angolo di rifrazione dovrebbe essere maggiore di 90°, avviene che i raggi non possono più uscire dalla superficie di separazione dei due mezzi, ma ritornano completamente indietro secondo le leggi della riflessione. Tale fenomeno dicesi; *riflessione totale*, perchè tale riflessione è meno incompleta di quella ordinaria.

4. Riflessione totale in un prisma rettangolare isoscele. — Il *fenomeno della riflessione totale e la differenza fra questa e la riflessione ordinaria* si può ancora *manifestare sperimentalmente* con un prisma rettangolare isoscele *a b c* (fig. 91). Facendo cadere un fascio luminoso *d e* perpendicolarmente sulla faccia verticale del cateto *a b*, esso non subisce deviazione

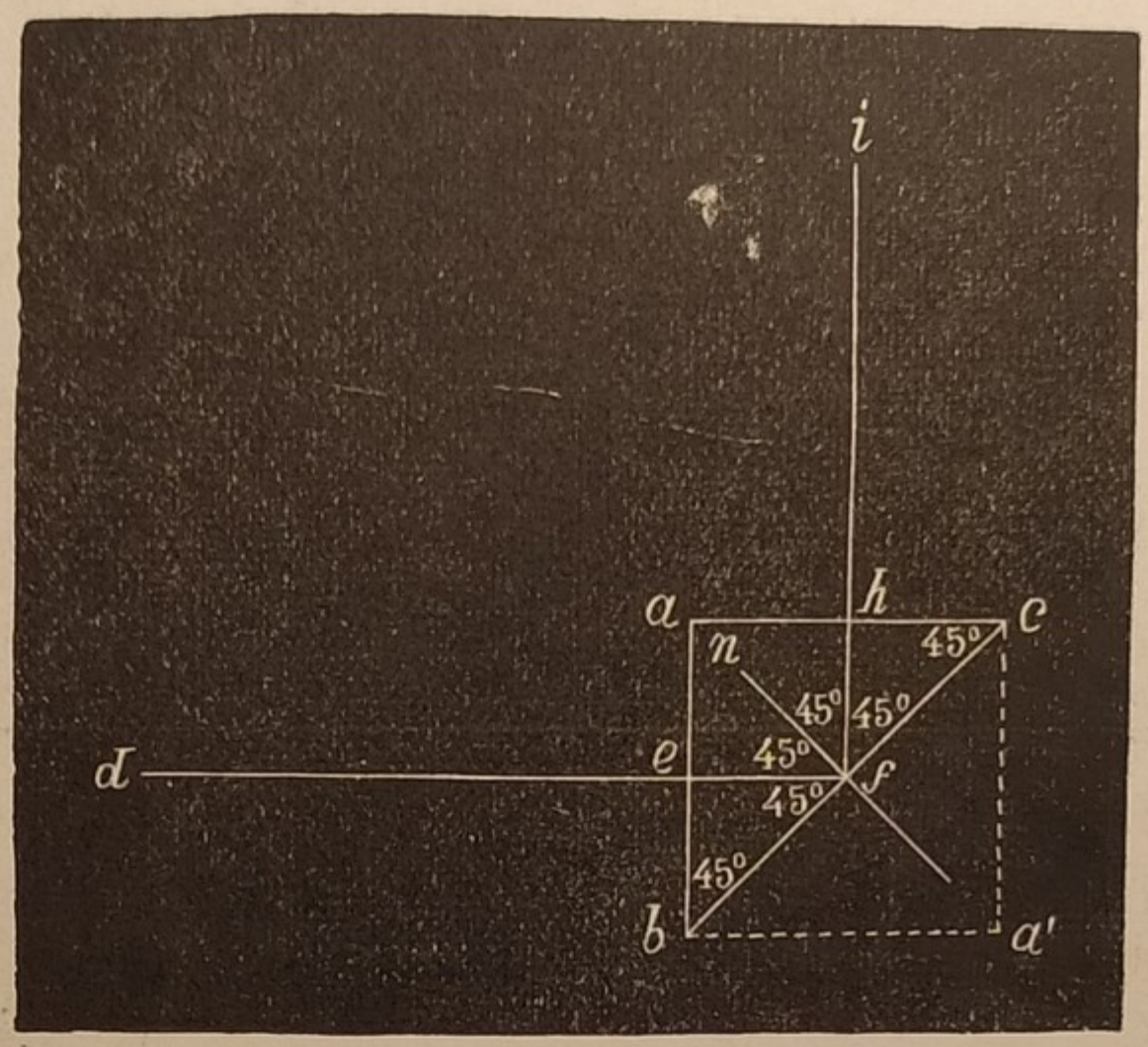


Fig. 91.

e arriva sulla faccia ipotenusa *b c* facendo colla medesima, e quindi anche colla normale *f n* un angolo di 45°, maggiore dell'angolo limite che è di 41°, perciò subisce la riflessione totale e va a segnare verticalmente sul soffitto in *i* un cerchio più luminoso di quello che produce la riflessione ordinaria su di uno specchio disposto nella direzione *b c*.

Quindi i prismi rettangolari vengono usati negli strumenti ottici siccome perfetti riflettori.

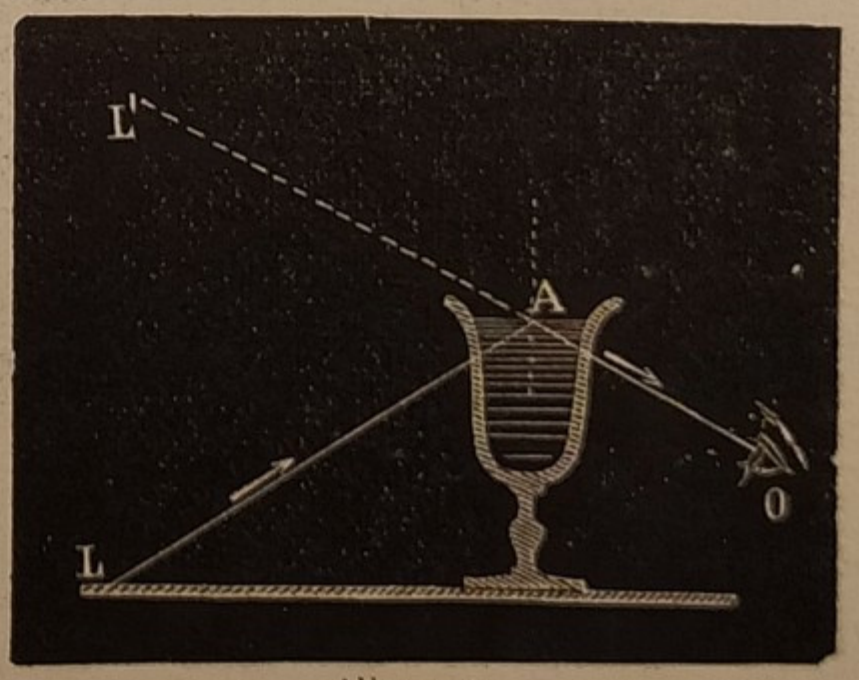


Fig. 92.

5. Riflessione totale in un bicchiere d'acqua. — Se un oggetto è collocato in L (fig. 92) accanto ad un bicchiere vuoto, un occhio collocato al di sopra di questo, in A, potrà vedere l'oggetto a traverso la parete. Ma se si versa acqua nel recipiente, quantunque il liquido sia trasparente, l'occhio non vede più l'oggetto, perchè il raggio L A, facendo colla normale un angolo di incidenza maggiore dell'angolo limite, subisce la riflessione totale, e prende la direzione A O, per modochè collocando l'occhio in O si vede l'oggetto rovesciato in L'.

E se nell'acqua si trova un punto raggiante A (fig. 93), solo i raggi che fanno colle rispettive normali un angolo minore di 48°, 47′ potranno uscir nell'aria, mentre quelli che fanno angolo maggiore saranno rimandati in basso, come indica la figura.

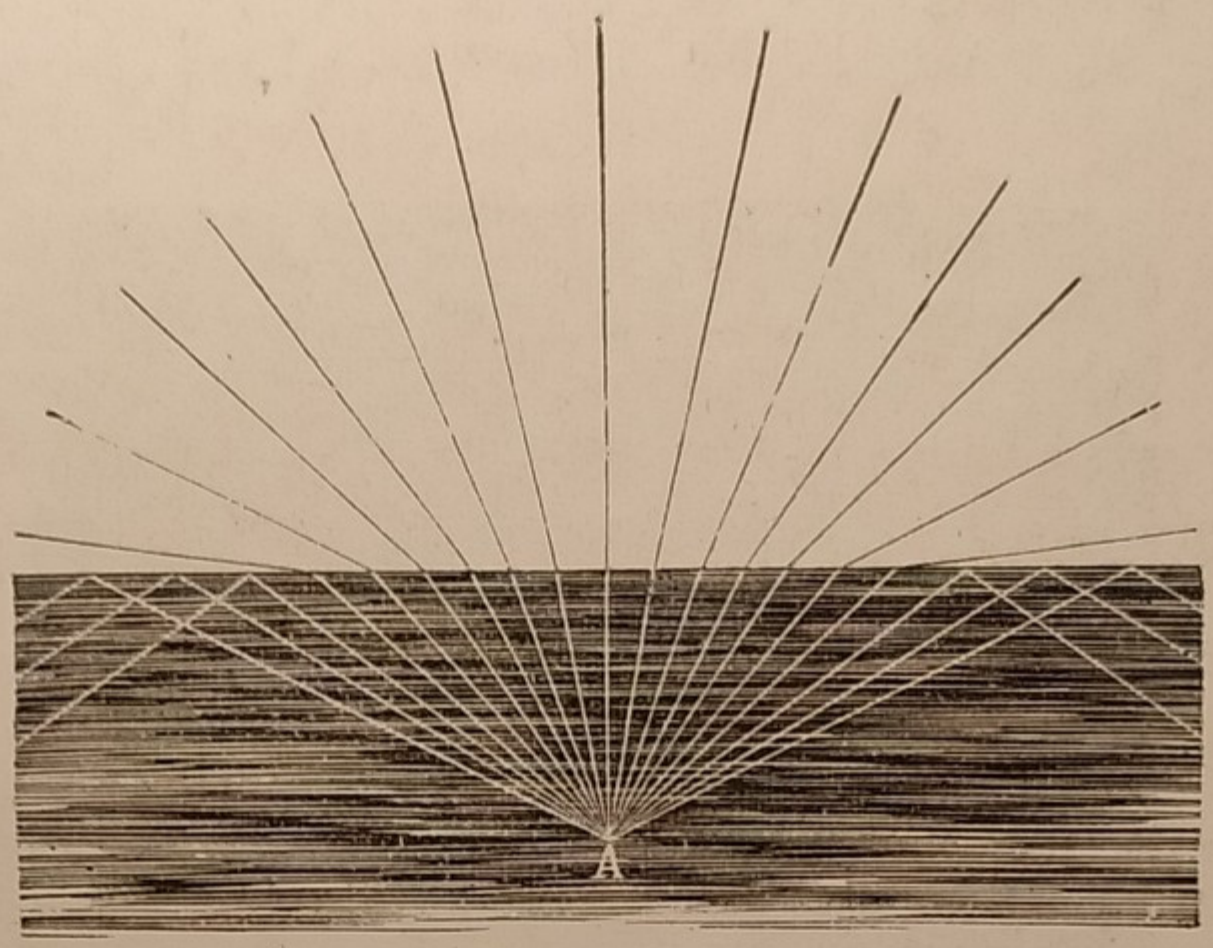


Fig. 93.

Fenomeni analoghi a questi si osservano negli acquari, quando si colloca l'occhio in modo da ricevere i raggi che partendo dagli oggetti collocati nell'acqua, subiscono la riflessione totale sulla superficie superiore del liquido, e poi si dirigono in basso verso la parete laterale di vetro dinanzi alla quale sta l'osservatore.

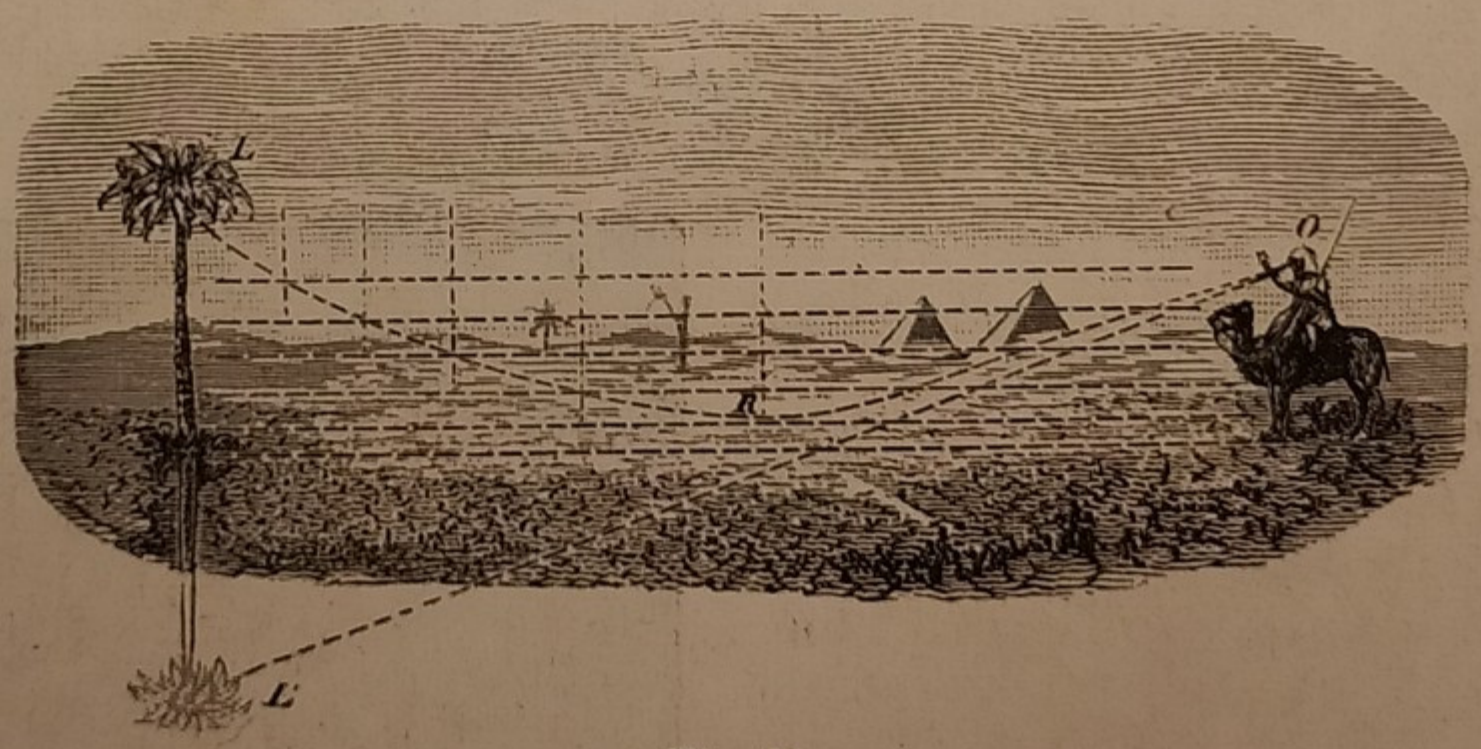


Fig. 94.

6. Miraggio. — Sulle ardenti sabbie dei deserti avviene al viaggiatore di osservare immagini rovesciate di alberi, o delle nubi e del cielo, come se avanti ai suoi passi si trovasse la specchiante superficie dell' acqua di un lago. Tale fenomeno, detto *miraggio*, s' interpreta osservando che pel contatto col suolo ardente i successivi strati aerei debbono diminuire di

densità dall'alto in basso e divenire meno rifrangenti. Allora un raggio di luce che parte da un punto L (fig. 94), e discende obliquamente, passando da uno strato in un altro meno rifrangente, si allontana dalle normali alle loro superfici di separazione, e finisce per fare in R un angolo di incidenza maggiore dell'angolo limite; allora subisce la riflessione totale, e risale verso l'alto, cosicchè entra poi nell'occhio dell'osservatore O come se venisse dal basso, e perciò questo vede il punto luminoso sotto il suolo, come se avesse dinanzi uno specchio orizzontale.

7. Riflessione totale nell' atmosfera. — I raggi che provengono da oggetti lontani e che sono diretti obliquamente in alto possono anche subire la riflessione totale nell'aria rarefatta delle regioni superiori dell'atmosfera, e allora discendendo possono far vedere in alto l'immagine rovesciata di oggetti lontani.

Per es., a Reggio di Calabria, in certe mattine d'estate, si veggono in aria immagini rovesciate di edifizi collocati sull'opposta spiaggia della Sicilia. Così pure, sui mari si veggono talvolta in aria le immagini rovesciate di navi lontane.

Ma siccome tali fenomeni sono fugaci, perchè nascono da condizioni atmosferiche mutevoli, così vennero dalla fantasia popolare ascritti ad una fata, d'onde il nome di *Fata morgana*.

§ 36. La rifrazione nei prismi.

1. Prismi. — Nell'ottica chiamasi *prisma* ogni mezzo trasparente limitato da faccie piane inclinate.

I prismi più usati sono triangolari (fig. 95). Essi possono essere solidi o liquidi od anche aeriformi. I primi sono di vetro o di altra sostanza trasparente. Per dar loro la posizione opportuna nelle esperienze si montano su un sostegno che permette di farli girare attorno a due assi perpendicolari (fig. 96).

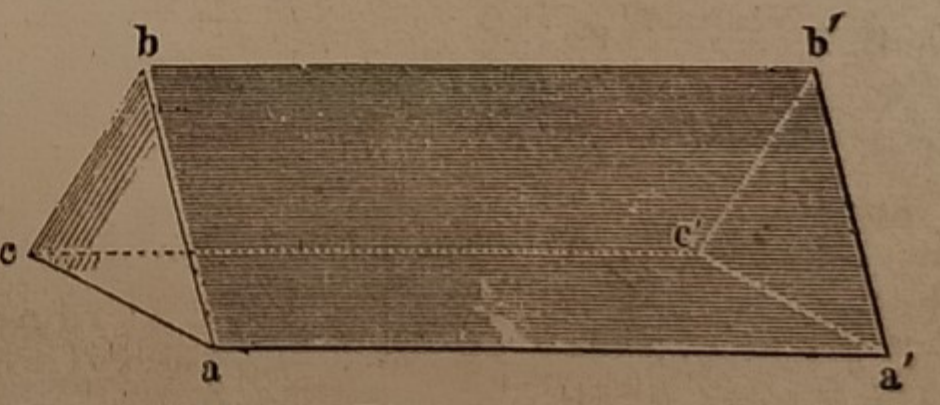


Fig. 95.

I prismi liquidi ed aeriformi si ottengono ponendo tali corpi in recipienti formati con lastre di vetro inclinate e stabilmente riunite negli angoli (fig. 97).

2. Definizioni relative. — Chiamasi *angolo rifrangente* del prisma l'angolo diedro formato dalle due faccie piane inclinate attraverso le quali passa il raggio luminoso.

Se il prisma è triangolare, la faccia opposta all'angolo rifrangente dicesi *base* del prisma.

Infine, dicesi *sezione principale* di un prisma la sezione fatta nel medesimo da un piano perpendicolare allo spigolo dell'angolo rifrangente.

In un prisma triangolare tale sezione è un triangolo, e secondochè questo è equilatero, isoscele, o scaleno, o rettangolo, il prisma si denomina nello stesso modo.

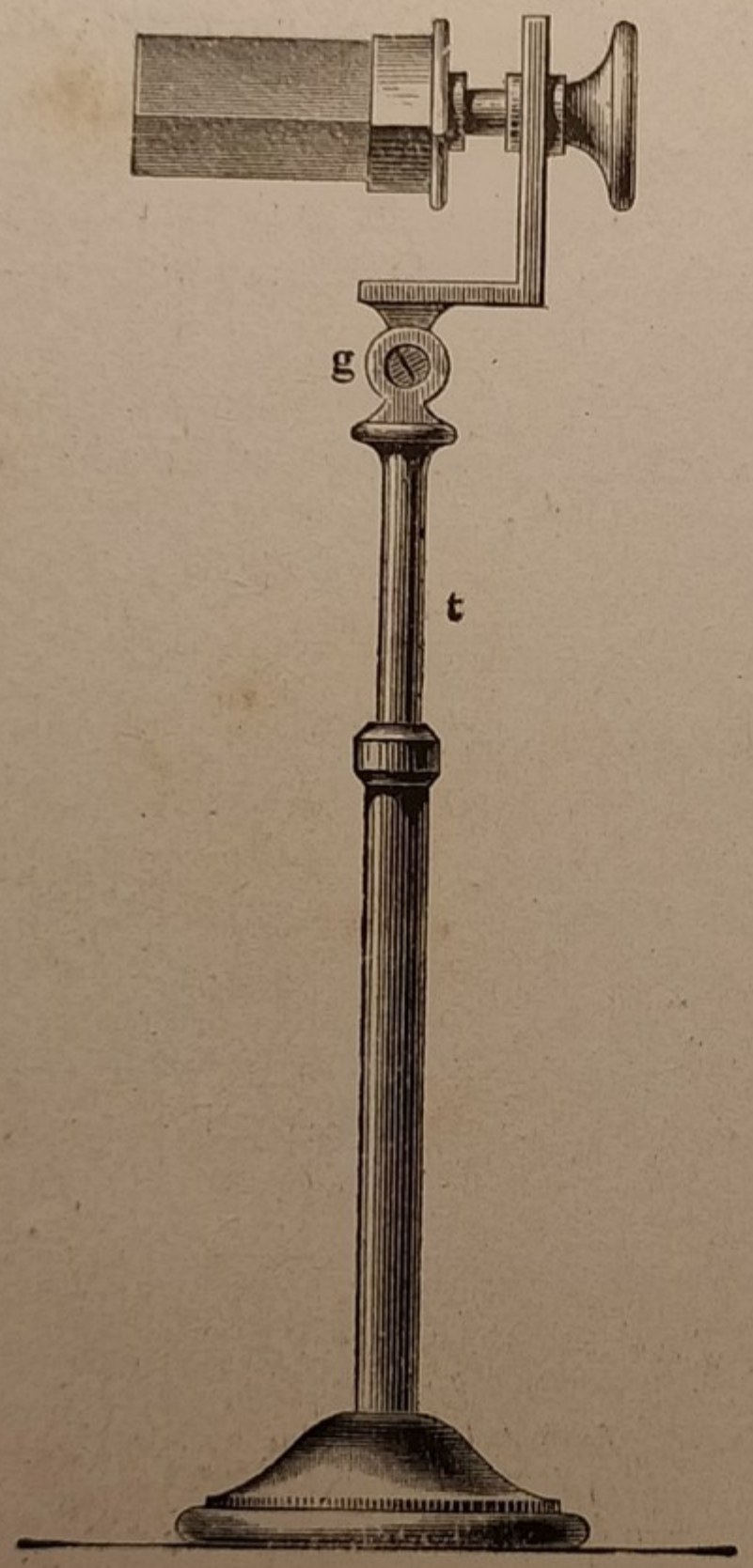


Fig. 96.

3. Effetti dei prismi sui raggi luminosi che li attraversano. — Se in una camera oscura si fa entrare un fascio di luce solare bianca, e si interpone un prisma sul tragitto di una parte del medesimo, si osservano due fenomeni: 1° I raggi che attraversano il prisma vengono deviati verso la base di questo; 2° I raggi deviati diventano colorati.

Fig. 97.

Conviene studiare i due fenomeni separatamente, perciò in questo paragrafo si tratta solo del primo.

4. Deviazione della luce prodotta da un prisma. — Sia ABC (fig. 98) la sezione principale di un prisma di vetro, LD un raggio luminoso incidente contenuto nel piano della detta sezione.

Per segnare il raggio rifratto si conduce la normale EK alla faccia AB, quindi si tira la retta DG in modo che faccia colla detta normale un angolo di rifrazione GDF il cui seno sia $^2/_3$ di quello dell'angolo d'incidenza LDE. Infine per segnare il raggio emergente si tira la normale MF alla seconda faccia AC del prisma, e poi una retta GO che faccia colla normale MF un angolo di rifrazione OGM il cui seno sia $^3/_2$ di quello dell'angolo d'incidenza DGF.

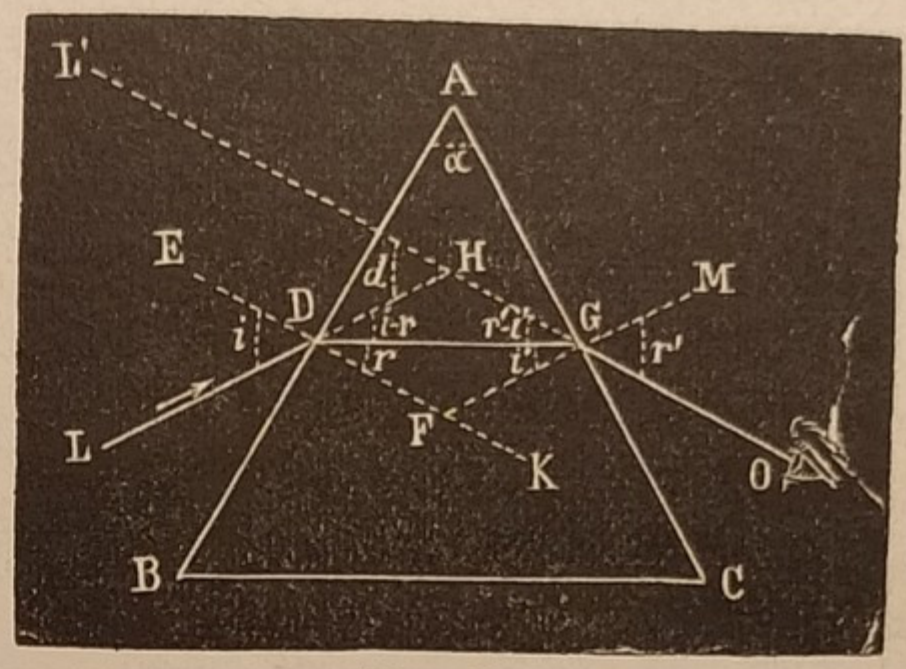


Fig. 98.

Quindi si vede che *il raggio si piega due volte nello stesso senso, cioè verso la base del prisma*, permodochè un occhio collocato in O riceve un fascio di raggi partiti da L come se provenissero da un punto L′ collocato verso il vertice, cioè *gli oggetti veduti attraverso un prisma appaiono spostati verso il vertice*, come si può facilmente accertare. Di più gli oggetti appaiono iridescenti pel notato fenomeno della scomposizione della luce.

5. Deviazione prismatica. — L'angolo LHL′, che la direzione LH del raggio incidente fa con quella OL′ del raggio emergente, si dice *angolo di deviazione* del prisma.

La grandezza dell'angolo di deviazione della luce prodotta da un prisma dipende:

1° dagli angoli di incidenza e di emergenza del raggio luminoso;

2° dall'angolo rifrangente del prisma;

3° dall'indice di rifrazione.

Il che è provato dalle seguenti esperienze.

6. Rapporto fra la deviazione e l'angolo d'incidenza. — Se in una camera oscura si fa cadere un fascio di raggi solari su di un prisma, in modo che solo una parte del fascio lo attraversi, mentre l'altra passando al di fuori serve ad indicare la direzione dei raggi incidenti, e poi si fa girare il prisma sul suo asse sempre nello stesso verso, in modo da fare variare l'angolo d'incidenza dei raggi colla faccia del prisma e quindi anche colla normale, notando su di uno schermaglio la direzione dei raggi rifratti si vede che l'angolo di deviazione diminuisce fino ad un certo limite, rag-

giunto il quale, continuando a girare il prisma sempre nello stesso verso, il che fa crescere l'angolo d'incidenza, l'angolo di deviazione di nuovo cresce. Lo stesso avviene facendo girare il prisma in senso contrario.

7. Deviazione minima. — Vi è dunque un angolo di deviazione minore di tutti gli altri, il quale si dice *angolo di deviazione minima.*

Il calcolo dimostra, e l'esperienza conferma, che la deviazione minima risulta quando l'*angolo di incidenza* è uguale all'*angolo di emergenza*, ossia quando *il raggio nel prisma ha direzione perpendicolare alla bisettrice del suo angolo rifrangente* A.

8. Rapporto fra la deviazione e l'angolo rifrangente del prisma. — Se si fa successivamente passare una parte di un fascio luminoso a traverso i 3 angoli rifrangenti ineguali di un prisma scaleno, e si nota su un diaframma la deviazione minima nei 3 casi, si vede che essa è massima per l'angolo maggiore del prisma, minima per l'angolo minimo, media per l'angolo medio.

Si ottiene lo stesso risultato con un prisma liquido del quale si può far variare l'angolo rifrangente avvicinando od allontanando le due lastre di vetro che formano l'angolo.

Dunque: *a parità di indice di rifrazione e di angolo d'incidenza la deviazione cresce o diminuisce col crescere o diminuire dell'angolo rifrangente del prisma.*

Del resto si sa che se l'angolo rifrangente del prisma fosse nullo la deviazione sarebbe nulla.

Però *la deviazione non è proporzionale all' angolo rifrangente*, ma specialmente per i grandi angoli rifrangenti la deviazione cresce più rapidamente che l'angolo rifrangente.

9. Rapporto fra la deviazione e l'indice di rifrazione del prisma. — Se si prendono 2 prismi che abbiano un angolo rifrangente eguale, ma l'uno di crown e l'altro di flint, e si prova a far deviare un fascio luminoso prima coll'uno e poi coll'altro prisma, si trova che l'angolo di deviazione minima è maggiore nel caso del prisma di flint, più rifrangente, che non nel caso del prisma di crown, meno rifrangente.

Dunque: *a parità di angolo rifrangente e di angolo di incidenza dei raggi luminosi, la deviazione cresce col crescere dell' indice di rifrazione della sostanza costituente il prisma.*

Lo stesso fatto si prova mediante il *poliprisma*, che è un prisma costituito da parecchi corti prismi di diverse sostanze, per es., di flint, di cristallo di rocca, di crown, ecc., ma cogli stessi angoli rifrangenti e saldati l'uno sopra l'altro per le loro basi. Se si fa passare un fascio luminoso attraverso i medesimi si vede che i raggi rifratti son più deviati dai prismi il cui indice di rifrazione è maggiore.

§ 37. Lenti convergenti

1. Lenti. — Assai importanti sono nell'ottica i mezzi trasparenti limitati da una o due superfici curve, i quali per la loro forma diconsi *lenti*.

La curvatura delle lenti può essere qualunque; ma negli strumenti ottici si usano più frequentemente lenti a curvatura sferica, la cui costruzione e le cui leggi sono più semplici.

Esse si costruiscono generalmente o di crown, vetro che non contiene piombo, o di flint, vetro con piombo e più rifrangente del crown.

2. Lenti convergenti e divergenti. — Si distinguono dapprima due generi di lenti, *convergenti* e *divergenti*, secondochè

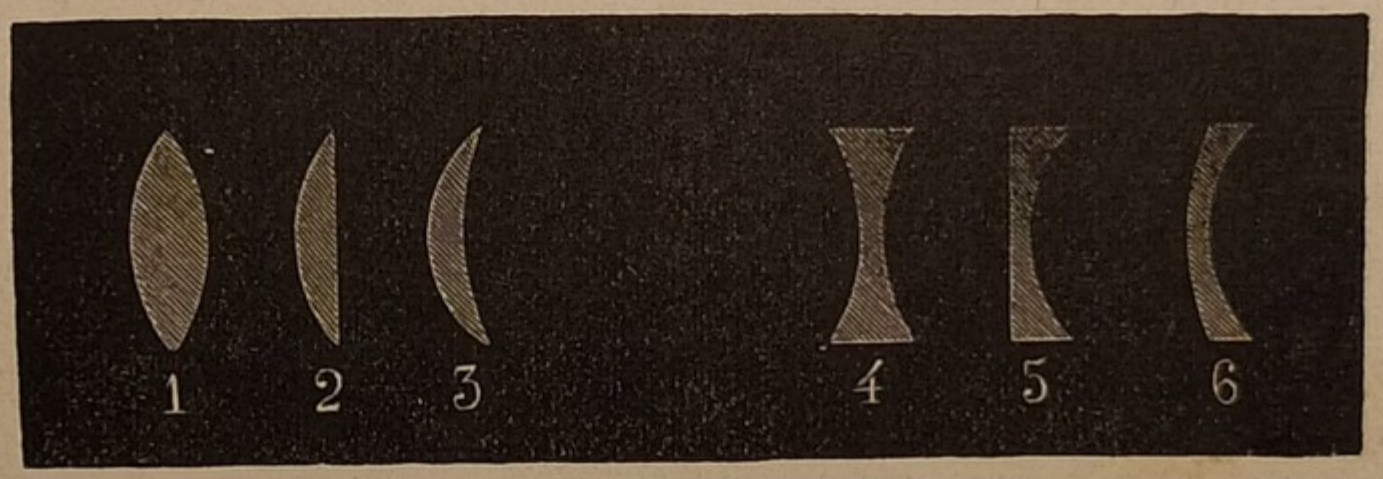


Fig. 99.

fanno convergere o divergere i raggi luminosi che le attraversano, e ciascun genere comprende tre specie, le cui differenze si scorgono osservando le loro sezioni nella fig 99.

Esse distinguonsi coi seguenti nomi:

1: biconvesse;
2: piano convesse;
3: concavo convesse o menischi convergenti;
4: biconcave;
5: piano concave;
6: convesso concave o menischi divergenti.

Le prime tre, più grosse al centro che nel contorno, sono le convergenti, come si può facilmente accertare ricevendo sulle medesime i raggi solari, che si veggono riunirsi in un punto, detto *foco*. Il che risulta anche dall'osservare che esse assotti-

gliandosi verso il contorno debbono agire come prismi aventi il loro vertice all'orlo, e la base verso il centro (come indica la figura 100, a destra; ora i prismi deviano verso la loro base i raggi che li attraversano (pag. 201). Le ultime tre invece, più sottili nel centro che all'orlo, sono divergenti; il che si può verificare ricevendo su di esse i raggi solari, e s'intende osservando che esse debbono agire come prismi aventi il loro vertice verso il centro e la base al contorno (fig. 100, a sinistra).

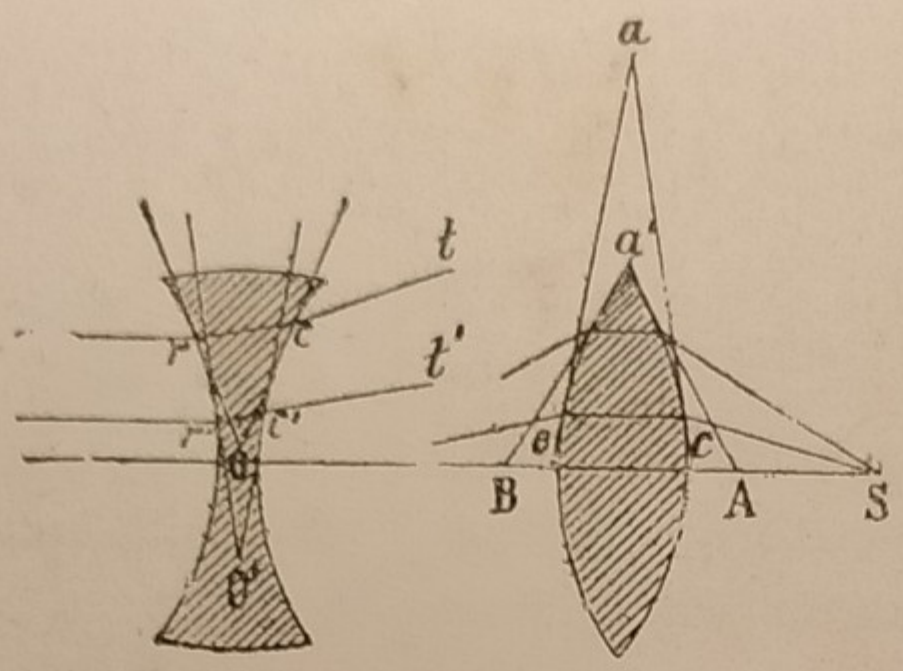


Fig. 100.

3. Definizioni relative. — Come negli specchi sferici, (pag. 174) così nelle lenti si dice *centro* e *raggio di curvatura* il centro e raggio di ciascuna faccia sferica, ed *asse principale*, od *asse ottico*, la retta indefinita che passa pei due centri di curvatura delle due faccie. Se una delle faccie è piana, l'asse principale è la retta che passa pel centro di curvatura della faccia sferica che è perpendicolare alla faccia piana. Perciò l'asse ottico è sempre perpendicolare alle due faccie della lente.

Parimenti, come negli specchi sferici, così nelle lenti sferiche la retta normale alla superficie in un dato punto è costituita dal raggio di curvatura condotto dal centro a quel punto.

Infine, si chiama *sezione principale* di una lente ogni sezione fatta da un piano passante per l'asse principale. Nelle figure relative alle lenti si suppone sempre che il loro piano sia una sezione principale.

4. Fochi delle lenti convergenti. — Nelle lenti chiamansi *fochi* i punti in cui concorrono i raggi rifratti od i loro prolungamenti, e si distingue il *foco principale*, *coniugato* e *virtuale*.

5. Foco principale. — Sieno C e F (fig. 101) i centri di curvatura delle due faccie sferiche di una lente convergente, L C F l'asse principale, A B, E I due raggi paralleli al detto asse. Il raggio A B entrando nella lente si avvicina alla normale F B

(in modo da soddisfare alla relazione $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n = {}^3/_2$, supposto la lente di crown con un indice di rifrazione ${}^3/_2$); e perciò si piega verso l'asse. Uscendo dalla lente si allontana dalla normale C D (in modo di soddisfare alla relazione $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{1}{n} = {}^2/_3$) e perciò si piega una seconda volta verso l'asse, che andrà ad incontrare in un punto F. Lo stesso avviene esattamente pel raggio luminoso E I equidistante dall'asse nella sezione principale rappresentata dalla figura, e per tutti gli altri pure equidistanti dall'asse nelle altre sezioni principali.

I raggi più lontani dell'asse si piegano di più verso questo, perchè attraversano la lente siccome un prisma di maggiore angolo rifrangente, e perciò concorrono in un punto più vicino alla

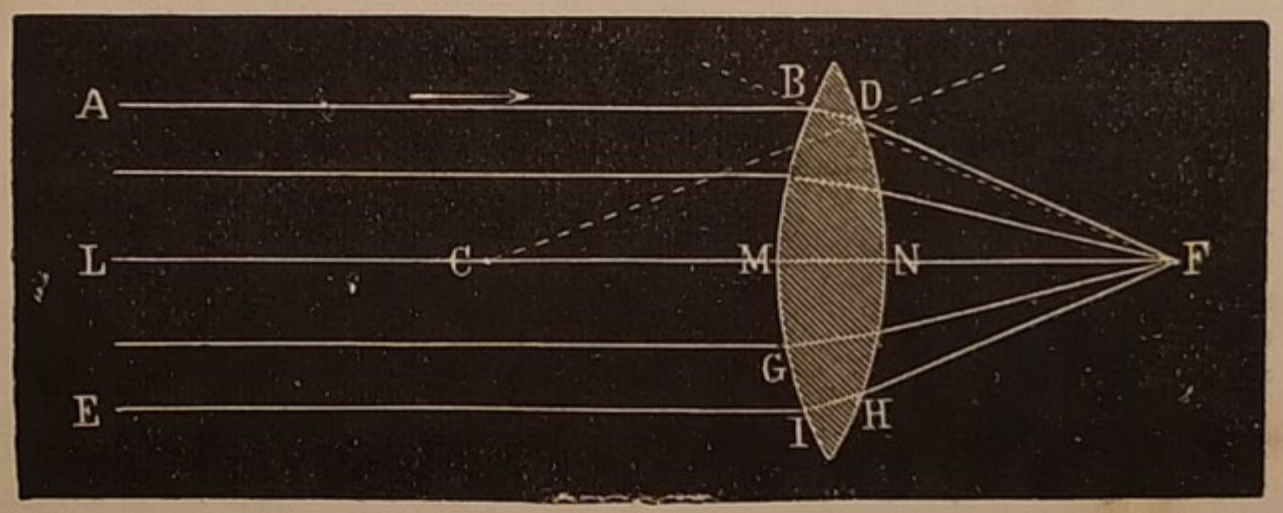


Fig. 101.

lente, e inversamente pei raggi più vicini all'asse; ma se l'apertura (pag. 175) di quella è piccola, in modo che possano passare solo i raggi assai vicini all'asse, o *centrali*, le differenze di deviazione sono insensibili, e risulta così un foco unico, detto *principale*.

Dunque: *i raggi luminosi paralleli all'asse principale di una lente convergente, i quali si possono considerare come provenienti da un punto raggiante collocato a distanza infinita, attraversando la lente divengono convergenti verso un punto che si dice foco principale.*

6. Prova sperimentale. — La distanza del sole dalla terra è così grande che i raggi solari partiti da un medesimo punto dell'astro si possono considerare siccome paralleli.

Ora, esponendo una lente ai raggi solari in modo che questi cadano sulla medesima parallelamente al suo asse principale, si

vede, in una camera oscura, mediante il pulviscolo atmosferico, che i raggi emergenti concorrono in un punto che è il foco principale. Ricevendo questi raggi su un foglio di carta appare sul medesimo un cerchietto luminoso, tanto più piccolo quanto è più vicino al foco. E siccome i raggi luminosi sono anche calorifici, perciò risulta nel detto punto una elevata temperatura, donde il nome di *foco*, nel quale, se la lente è un poco grande, si possono accendere corpi combustibili.

7. **Distanza focale principale.** — La distanza del foco principale dalla lente si dice *distanza focale principale*. La si ottiene sperimentalmente presentando la lente ai raggi solari e misurando la distanza del punto in cui i raggi sono più concentrati dalla medesima.

A parità di materia la distanza focale principale di una lente diminuisce col crescere della curvatura delle sue faccie, ovvero col diminuire dei raggi di curvatura di queste, perchè col crescere della curvatura essa agisce come un prisma di maggiore angolo rifrangente il quale produce una deviazione maggiore.

La formola delle lenti dimostra che nelle lenti convergenti di crown, con un indice di rifrazione $n = {}^3/_2$, e i raggi di curvatura delle due faccie eguali, il foco principale coincide col centro di curvatura della 1ª faccia della lente. Perciò supponendo la lente della fig. 101 di crown si è fatto coincidere il foco principale F col centro di curvatura della 1ª faccia della lente.

Ma siccome l'indice di rifrazione del vetro crown, col quale sono fatte le lenti convergenti, è alquanto maggiore di ${}^3/_2 = 1{,}5$, essendo compreso fra 1,53 e 1,63 (pag. 191), perciò la distanza focale delle lenti convergenti è in generale minore del raggio di curvatura. Se poi la lente fosse di flint o altra sostanza avente un indice di rifrazione maggiore del crown la distanza focale risulterebbe ancora minore.

Dunque: *a parità di curvatura delle faccie la distanza focale di una lente diminuisce col crescere del suo indice di rifrazione.*

8. **Semplificazione delle costruzioni grafiche.** — Per semplificare le costruzioni grafiche si possono riunire in una sola le due rifrazioni che avvengono all'ingresso e all'egresso del raggio

della lente, tirando il diametro L L (fig. 102) di questa, prolungando i raggi incidenti fino all'incontro del detto diametro, ed infine segnando i raggi emergenti in modo che passino pel foco principale F, il che equivale a trascurare la grossezza o spessore della lente supponendo questa sottilissima.

9. Inversione dei raggi. — *Inversamente, se un punto raggiante si trova nel foco principale di una lente convergente, i raggi che partono da questo, attraversando la lente, divengono paralleli all'asse principale,* perchè gli angoli di rifrazione divengono angoli di incidenza, ed inversamente.

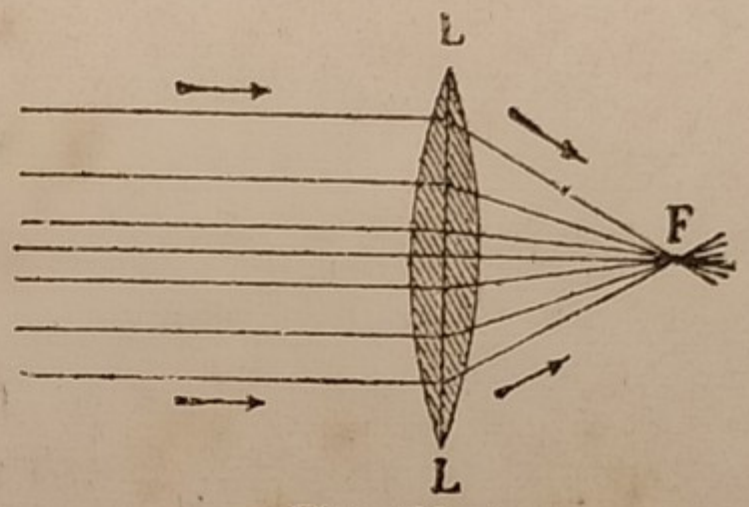


Fig. 102.

Il che si può provare sperimentalmente facendo cadere un fascio cilindrico di raggi solari in una camera oscura su di una prima lente convergente, la quale li riunisce nel foco principale, e poi facendo cadere il fascio conico che parte da questo foco su di una seconda lente convergente collocata alla sua distanza focale principale dal foco della prima, che somministra il punto raggiante. Si vede così il fascio conico incidente sulla seconda lente convertirsi in un fascio parallelo.

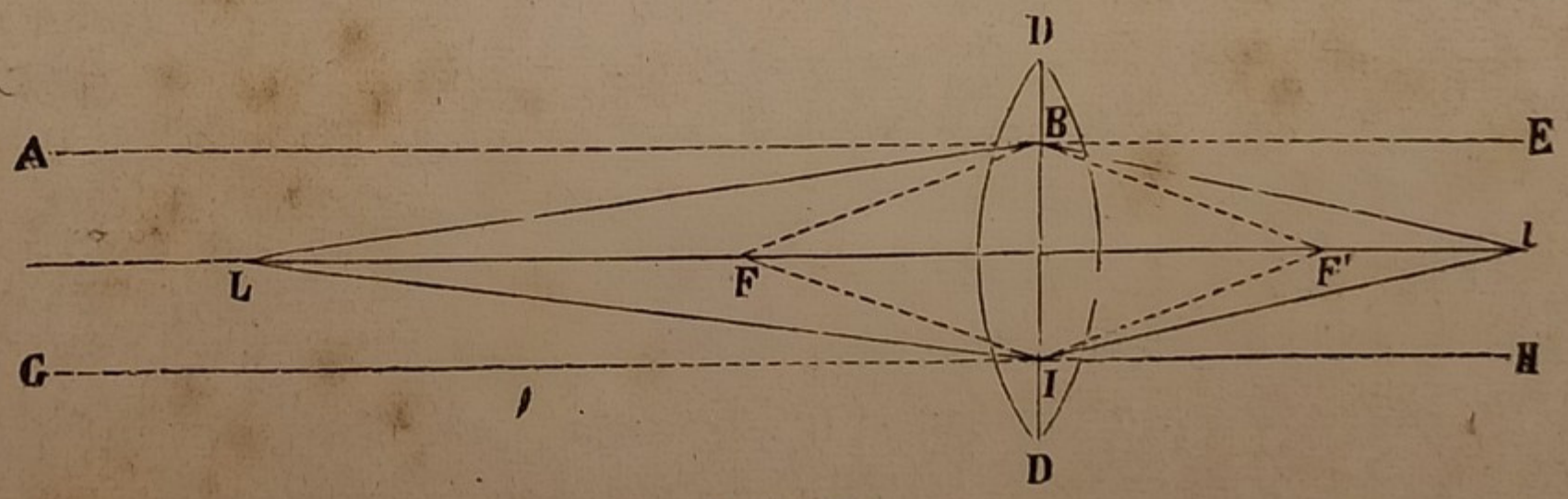


Fig. 103.

Così la luce conserva la sua intensità. Perciò le lenti, come gli specchi concavi (pag. 177), servono a proiettare la luce in lontananza, come si fa nei fari e sulle navi.

10. Foco coniugato. — Se i raggi (A B, G I, fig. 103) che partono da un punto collocato a distanza infinita da una lente convergente, e perciò arrivano su questa paralleli, si riuniscono

nel foco principale (F′), ed inversamente, quelli che partono dal foco principale (F) dopo la rifrazione divengono paralleli (B E, IH) all'asse, cioè concorrono a distanza infinita, egli è evidente che se L è un punto raggiante compreso fra la distanza infinita e il primo foco principale F di una lente convergente i raggi divergenti che partono dal detto punto, attraversando la lente, debbono divenire convergenti verso un punto *l* tanto più vicino al secondo foco principale F′ quanto più lontano è L dalla lente, ed inversamente.

Dunque: *quando il punto raggiante è collocato fra la distanza infinita e il primo foco principale* (F) *di una lente convergente i raggi che attraversano questa concorrono dall'altra parte della medesima in un punto collocato tra il secondo foco principale* (F′) *e la distanza infinita, tanto più prossimo a questo quanto più lontano è il punto raggiante, ed inversamente.*

Tale punto dicesi *foco coniugato*. Esso sta fra i due casi limiti rappresentati nella figura da linee punteggiate, cioè tra il foco principale e la distanza infinita.

Di più, *se il punto raggiante viene nel foco coniugato, questo va al posto di quello*, perchè gli angoli di rifrazione divengono angoli di incidenza, ed inversamente.

E più generalmente *le distanze del punto raggiante e del suo foco coniugato dalla lente sono reciproche*, cioè quando il punto raggiante prende il posto del suo foco coniugato questo va al posto del punto raggiante; perciò appunto tale foco si dice *coniugato*. Anzi siccome tale reciprocità di posizione esiste anche per la distanza infinita e il foco principale consegue che questo è un caso particolare del foco coniugato.

Esiste poi una distanza del punto raggiante dalla lente alla quale corrisponde un'eguale distanza del suo foco coniugato, ed è precisamente la doppia distanza focale principale, il che risulta dalla formola delle lenti (pag. 210).

D'onde consegue ancora che: *se il punto raggiante si muove da una parte della lente dalla distanza infinita fino alla doppia distanza focale principale il suo foco coniugato si muove dall'altra parte della lente dalla semplice alla doppia distanza focale.*

E *se il punto raggiante si muove da una parte della lente dalla doppia alla semplice distanza focale principale il suo foco coniugato si muove dall'altra parte dalla doppia distanza focale fino alla distanza infinita.*

Il che si può verificare sperimentalmente, mediante due lenti convergenti, una delle quali somministra nel suo foco principale un punto raggiante che si può collocare ad opportuna distanza dalla seconda lente.

11. Foco virtuale. — Se a misura che il punto raggiante L (fig. 103) si muove dinanzi alla lente dalla distanza infinita verso il 1° foco principale (F), i raggi rifratti escono dalla lente sempre meno convergenti rispetto all'asse principale finchè divengono paralleli a questo quando il punto raggiante viene nel detto foco, la continuità del fenomeno richiede che quando il

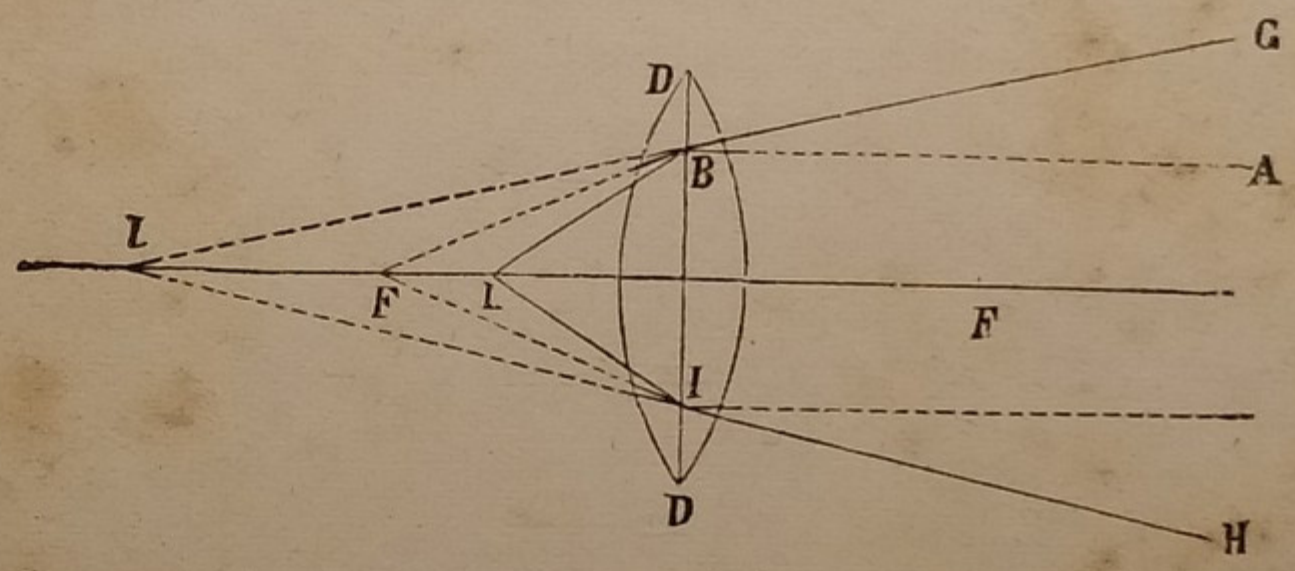


Fig. 104.

punto raggiante avvicinandosi alla lente oltrepassa il foco principale e viene in L (fig. 104), i raggi incidenti L B, L I debbano uscir divergenti rispetto all'asse, per modo da non più incontrarsi. Ma se si prolungano questi raggi divergenti B G, I H dalla parte del punto raggiante L essi si incontrano in un punto *l*, detto *foco virtuale*, nel quale l'occhio che riceve i raggi emergenti vede il punto raggiante.

Dunque: *quando il punto raggiante* L (fig. 104) *è collocato tra il foco principale* (F) *e la lente i raggi dopo la rifrazione escono divergenti fra loro permodochè più non si incontrano, ma, prolungati dalla parte d'onde provengono, s'incontrano in un punto* (*l*) *che si dice foco virtuale.*

Questo foco sarà tanto più lontano dalla lente quanto più il punto raggiante sarà prossimo al foco principale, perchè se fosse ivi quello sarebbe a distanza infinita, ed inversamente.

12. Prova sperimentale. — Se raggi solari concentrati nel foco di una prima lente convergente si fanno cadere su di una seconda lente, pure convergente, in modo che il foco della prima disti dalla seconda meno della distanza focale principale di questa, si vede che il fascio conico divergente, incidente sulla seconda lente, attraversando questa diminuisce bensì di divergenza ma rimane ancora divergente, cosicchè i raggi più non si incontrano.

13. Formola delle lenti convergenti. — Rappresentando:

con p la distanza del punto raggiante dalla lente,
» q » » » suo foco,
» f » focale principale,

si dimostra che fra queste grandezze esiste la relazione semplicissima (formola classica delle lenti convergenti) seguente:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

dalle quali si ricava:

$$\frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}$$

$$\frac{1}{q}=\frac{p-f}{pf}$$

$$q=\frac{pf}{p-f}$$

$$q=\frac{f}{1-\frac{f}{p}}$$

Attribuendo a p i valori: ∞, $2f$, f.
si ottengono per q i valori: f, $2f$, ∞.

il che conferma quanto venne già esposto.

14. Centro ottico. — In ogni lente vi è un punto il quale ha la proprietà che i raggi passanti pel medesimo non sono deviati, perchè attraversano la lente siccome un mezzo a faccie parallele (pag. 193). Tale punto dicesi *centro ottico*.

La sua posizione si può determinare graficamente tirando due raggi di curvatura qualunque paralleli fra loro (C A, C′ B, C A′,

C′B′, fig. 105) e poi congiungendo con una retta (A B, A′B′) i punti in cui essi incontrano le due faccie della lente; il centro ottico si trova nel punto (O) in cui tale retta interseca l'asse principale, e la sua posizione è costante per una data lente.

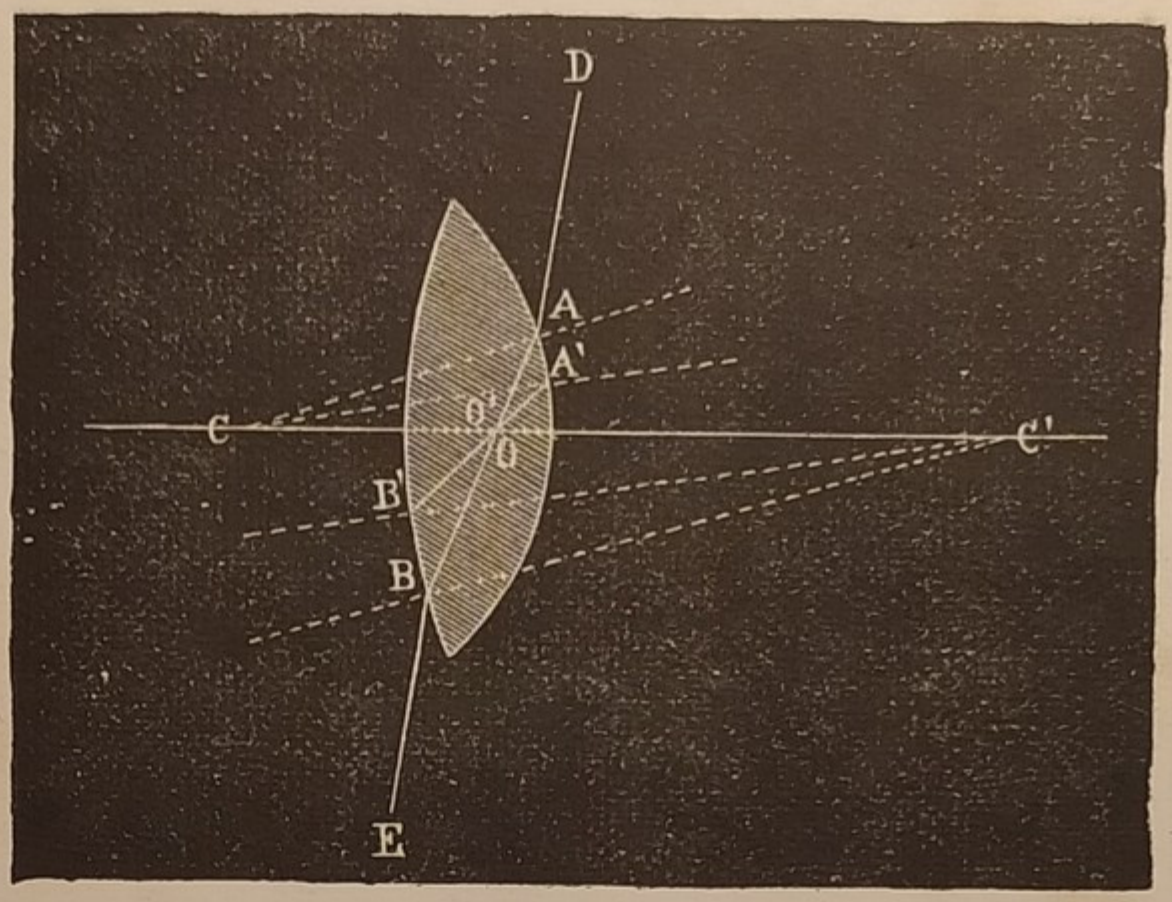


Fig. 105.

Nelle lenti convergenti e divergenti con ugual raggio di curvatura delle due faccie il centro ottico è collocato sulla metà della grossezza o spessore. Se invece una delle faccie è più curva dell'altra (figura indicata) il centro ottico è più vicino a quella, e nelle piano-convesse e piano-concave è nel punto in cui l'asse

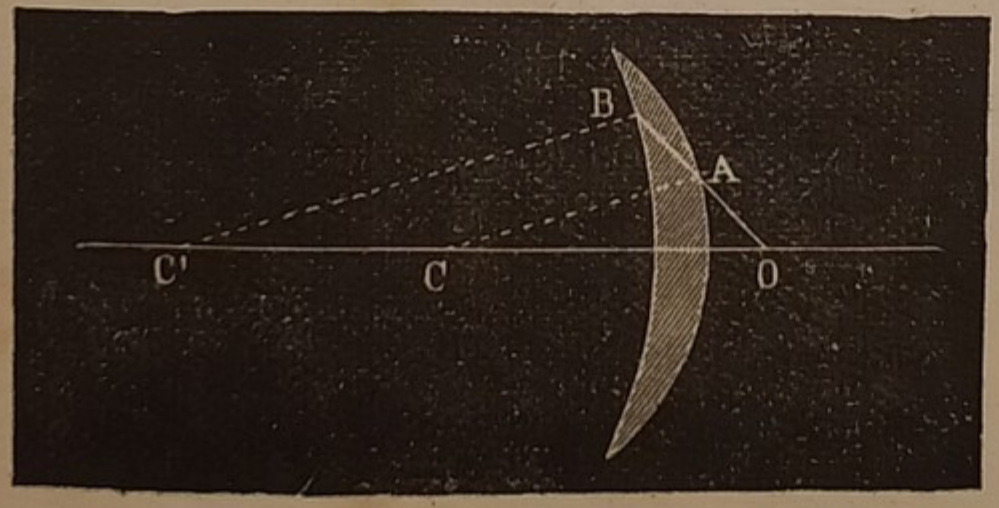


Fig. 106.

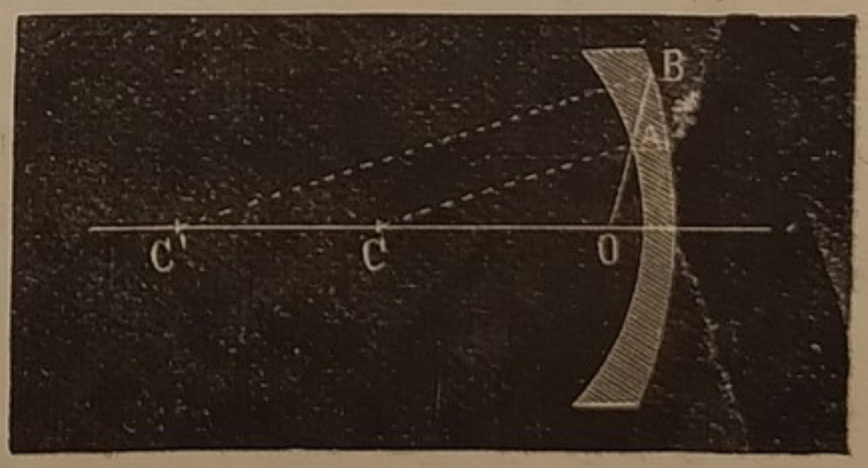


Fig. 107.

principale incontra la faccia curva, perchè ivi la superficie della lente è parallela alla faccia piana. Infine nei menischi convergenti e divergenti (fig. 106 e 107) il centro ottico (O) è collocato fuori della lente dalla parte della faccia più curva (siccome si scorge nelle indicate figure).

15. Assi secondari. — Dunque un raggio luminoso il quale passa pel centro ottico di una lente non subisce deviazione ma solo uno spostamento, il quale è tanto minore quanto minore è l'angolo d'incidenza, la grossezza e l'indice di rifrazione della lente, come si è notato pei mezzi a faccie parallele (pag. 193). Ora, siccome le lenti adoperate negli strumenti ottici hanno piccola grossezza, e i raggi sono sempre pochissimo inclinati sull'asse principale, e quindi fanno piccoli angoli di incidenza colle rispettive normali, consegue che i raggi passanti per il centro ottico delle lenti si confondono sensibilmente colle rette passanti per questo punto, le quali diconsi *assi secondarii*. Perciò *un asse secondario rappresenta un raggio il quale attraversa la lente senza deviazione.*

16. Immagini reali e virtuali. — Nelle lenti come negli specchi risultano le immagini degli oggetti dalla riunione dei

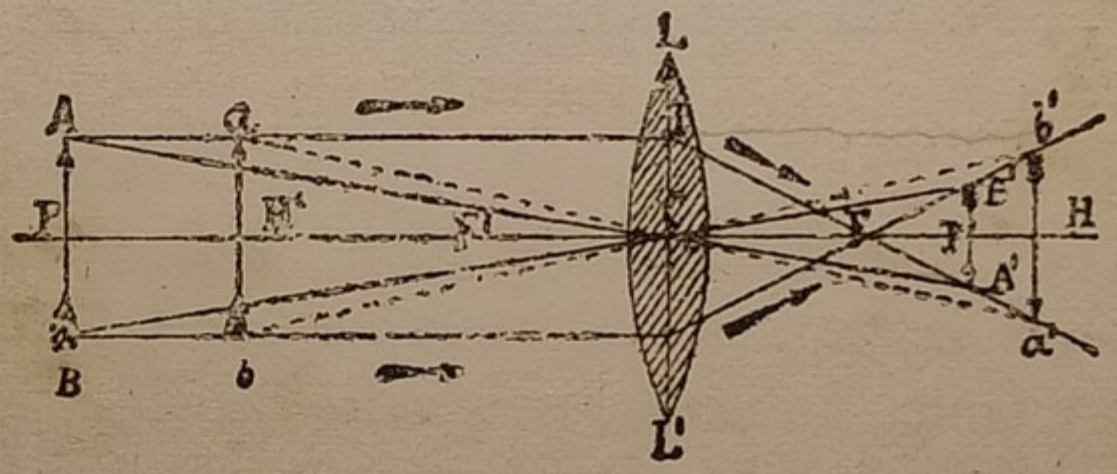


Fig. 108.

fochi dei loro diversi punti luminosi. Queste immagini sono reali o virtuali secondochè sono reali o virtuali i detti fochi.

Perciò colle lenti convergenti l'immagine è reale quando la distanza dell'oggetto dalla lente è maggiore della distanza focale principale; è virtuale quando quella distanza è minore siccome si è detto pei fochi (pag. 208 e 209).

17. Immagine reale. — Sia A B (fig. 108) un oggetto collocato dinanzi una lente convergente ad una distanza maggiore della distanza focale principale, e sieno F′, F il 1° e 2° foco principale. Per determinare graficamente l'immagine dell'oggetto nella maniera più semplice si conducono pel centro ottico C gli assi secondarii A C, B C, passanti pei punti estremi A B dell'oggetto, e si prolungano indefinitamente dall'altra parte della lente. Indi si tira il raggio incidente A I parallelo all'asse principale fino all'incontro del diametro L L′ della lente. Questo

raggio èmergendo passa per F, e prolungato viene ad incontrare l'asse secondario A C in un punto A′, che è il foco coniugato di A. Parimenti si ottiene il foco coniugato B′ di B. E siccome i fochi dei punti raggianti intermedii fra A e B si formano fra A′ e B′, ne risulta ivi un'immagine *reale* e *rovesciata* dell'oggetto.

Quest'immagine è *reale*, perchè sono reali i fochi dei punti luminosi dell'oggetto, e perciò si può raccogliere su un diaframma. È *rovesciata* perchè i fochi reali dei diversi punti luminosi dell'oggetto collocati da una parte dell'asse principale si formano dall'opposta parte di questo.

Viceversa, se A′B′ rappresentasse un oggetto, AB rappresenterebbe la sua immagine, perchè gli angoli di incidenza diverrebbero angoli di rifrazione, ed inversamente.

Dalla similitudine dei triangoli ACB, A′CB′ e dall'osservazione che quando il punto raggiante è alla doppia distanza focale dalla lente il suo foco è alla stessa distanza dall'altra parte della lente (pag. 210), consegue che:

1° Se l'oggetto è in *ab* alla doppia distanza focale dalla lente, l'immagine *a′b′* è pure alla stessa distanza, e ha la stessa grandezza dell'oggetto, perchè in tale caso i triangoli C *a b*, C *a′b′* sono eguali.

2° Se l'oggetto è in AB fra la distanza infinita e la doppia distanza focale l'immagine è in A′B′ fra la semplice e la doppia distanza focale, ed è tanto più vicina al foco principale e più piccola quanto più l'oggetto è lontano. Ed inversamente se l'oggetto è in A′B′ fra la semplice e la doppia distanza focale l'immagine è in AB fra la doppia distanza focale e la distanza infinita, ed è tanto maggiore dell'oggetto quanto più questo è vicino al foco principale.

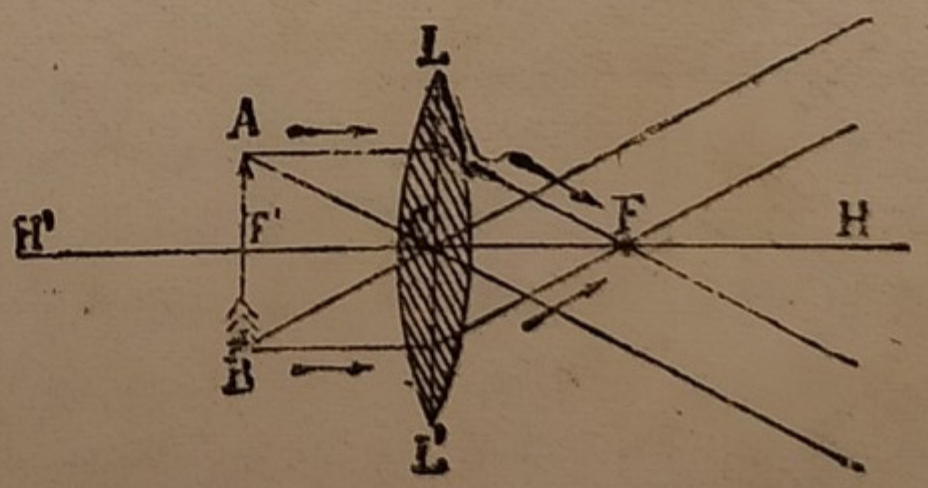


Fig. 109.

3° Se l'oggetto viene nel foco principale F′ (figura 109), l'immagine va a distanza infinita, perchè in tale caso il raggio A I parallelo all'asse principale, uscendo dalla lente passa per F, ed esce paral-

lelo all'asse secondario A C, permodochè il quadrilatero A I F C è un parallelogramma.

Riassumendo risulta: 1° *l'immagine data da una lente convergente è reale quando la distanza dell'oggetto è maggiore della distanza focale principale;* 2° *l'immagine reale è rovesciata;* 3° *ha la stessa grandezza dell'oggetto quando la distanza di questo dalla lente è doppia della distanza focale principale; è maggiore dell'oggetto quando questo è fra la semplice e la doppia distanza focale; è minore quando la distanza dell'oggetto è maggiore della doppia distanza focale.*

18. Prove sperimentali. — In una camera oscura si colloca un corpo luminoso, per es. una fiamma, avanti una lente convergente, e poi si raccolgono su uno schermaglio collocato dall'altra parte i raggi emergenti, e si veggono così su questo le immagini reali rovesciate più grandi, eguali, o più piccole dell'oggetto secondo i casi enunciati.

Invece di usare una fiamma si possono fare entrare i raggi solari in una camera oscura a traverso una lastra metallica che ha una fenditura in forma di freccia, la quale diviene così l'oggetto luminoso.

19. Immagine virtuale. — Infine consideriamo il caso in cui un oggetto A B (fig. 110) è collocato fra una lente convergente e il suo foco principale F'. Per determinare l'immagine si conducono pel centro ottico C e i punti estremi A, B dell'oggetto gli assi secondarii C A, C B che rappresentano i raggi non deviati, e si prolungano indefinitamente da ambe le parti. Indi si tira il raggio A I parallelo all'asse principale fino all'incontro del diametro L L' della lente, e poi il raggio emergente I F il quale passa pel foco principale F, ed è divergente

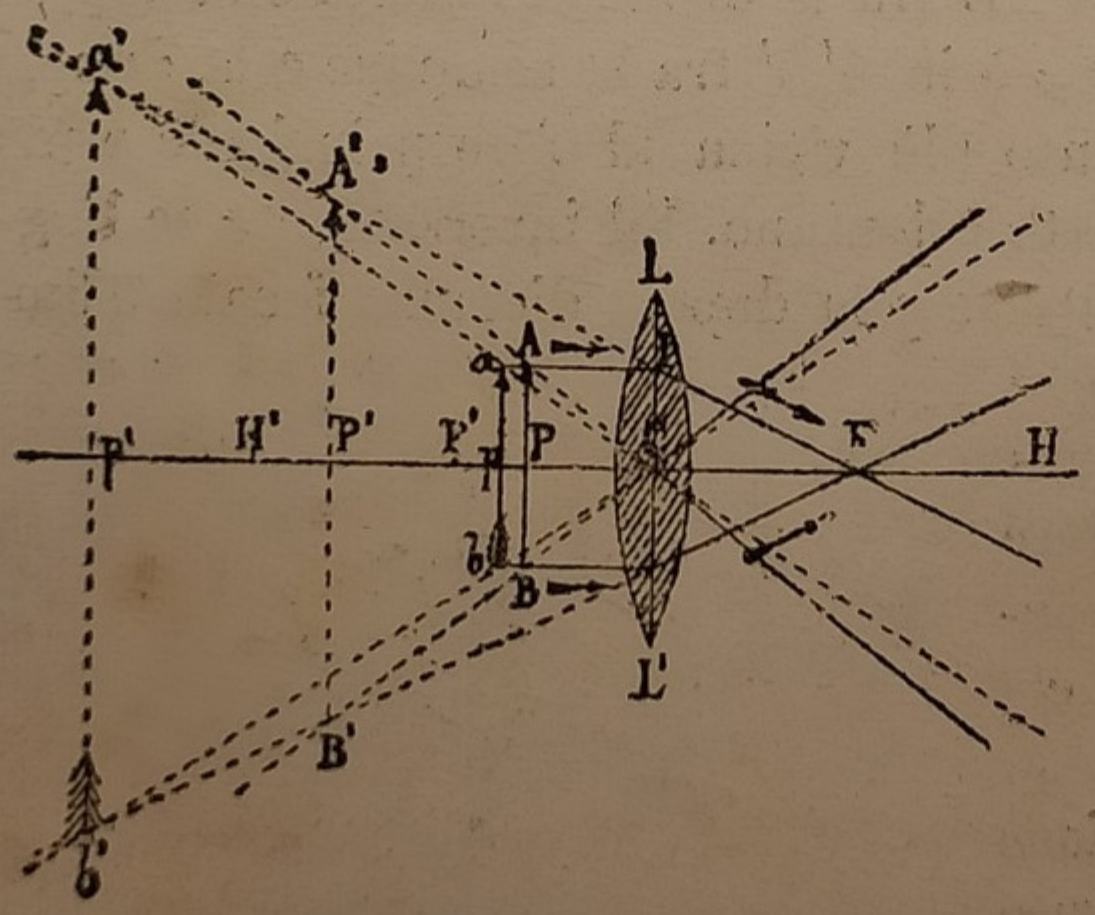


Fig. 110.

dall'asse secondario A C, perchè la figura A C F I in questo caso non è più un parallelogramma, come nella figura precedente, ma un trapezio, essendo A I $<$ C F. Perciò il raggio emergente I F in questo caso non incontra più l'asse secondario A C dall'altra parte della lente, ma bensì dalla stessa parte del punto raggiante in un punto A′, permodochè un occhio che accolga i raggi partiti da A, dopo che hanno attraversato la lente, li riceve come se provenissero da A′, e vede perciò il punto A in A′. Parimenti esso riceve i raggi partiti da B come se provenissero da B′, e vede perciò il punto B in B′, e i raggi che partono dai punti intermedii fra A e B li vede fra A′ e B′. Pertanto in questo caso l'occhio vede in A′ B′ un'immagine la quale ha i seguenti caratteri: *è diritta e virtuale.*

La fig. 110 mostra ancora che l'immagine virtuale e diritta è tanto maggiore quanto più l'oggetto è vicino al foco principale, perchè se l'oggetto è in *a b* il raggio *a* I parallelo all'asse principale uscendo dalla lente passa sempre per F, ma è meno divergente rispetto all'asse secondario *a* C che non sia rispetto all'asse A C, perchè *a* I $>$ A I, e perciò incontra quell'asse in un punto *a′* più lontano dalla lente che il punto A′. Lo stesso avviene pel raggio che parte da *b* il quale incontra il rispettivo asse secondario in un punto *b′* più lontano della lente che il punto B′. Perciò l'immagine virtuale diritta *a′ b′* è maggiore di A′ B′.

Il che si verifica facilmente coll'esperienza.

§ 38. Lenti divergenti.

1. Foco virtuale principale. — Sieno C, C′ (fig. 111) i centri di curvatura delle due faccie di una lente biconcava; A B, G H raggi paralleli all'asse principale C C′, cioè provenienti da un punto a distanza infinita. Il raggio A B entrando nella lente si avvicina alla normale C B, e quindi si piega verso il contorno secondo B D. Uscendo in D si allontana dalla normale C′ D e quindi si piega una seconda volta verso il contorno secondo D E. Lo stesso avviene per il raggio simmetrico G H e, fra certi limiti, per tutti gli altri. Perciò i raggi incidenti paralleli all'asse

principale, dopo la rifrazione, formano un fascio conico divergente e più non si incontrano. Ma se si prolungano questi raggi dalla parte d'onde provengono essi si incontrano sull'asse principale in un punto F, che è il *foco virtuale principale*, il quale sarà più o meno vicino alla lente secondochè questa è più o meno rifrangente e più o meno concava. La distanza di questo punto dalla lente si dice *distanza focale principale* come nelle lenti convergenti.

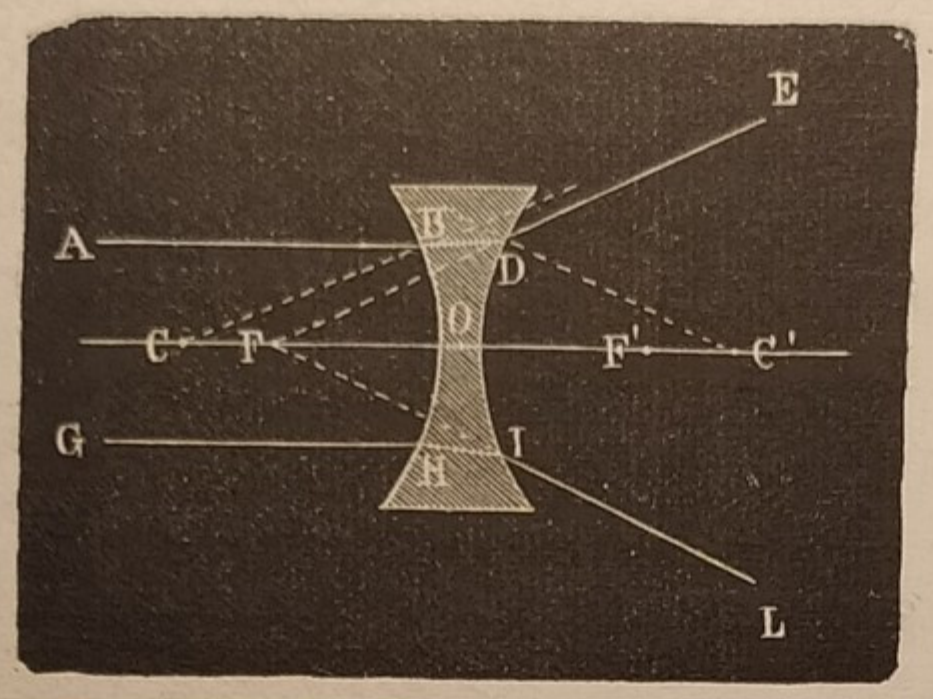


Fig. 111.

Anche per queste lenti, come si è fatto per le convergenti, allo scopo di semplificare le costruzioni grafiche, si tira il diametro L L′ (fig. 112) e si prolungano i raggi incidenti fino all'incontro del medesimo, poscia si piegano verso il contorno in modo che i loro prolungamenti concorrano nel punto F′, che è il foco virtuale principale.

Dunque: *I raggi paralleli all'asse principale, attraversando una lente divergente, divengono divergenti, permodochè più non si incontrano; ma, prolungati dalla parte d'onde provengono, si incontrano in un punto che è un foco virtuale principale.*

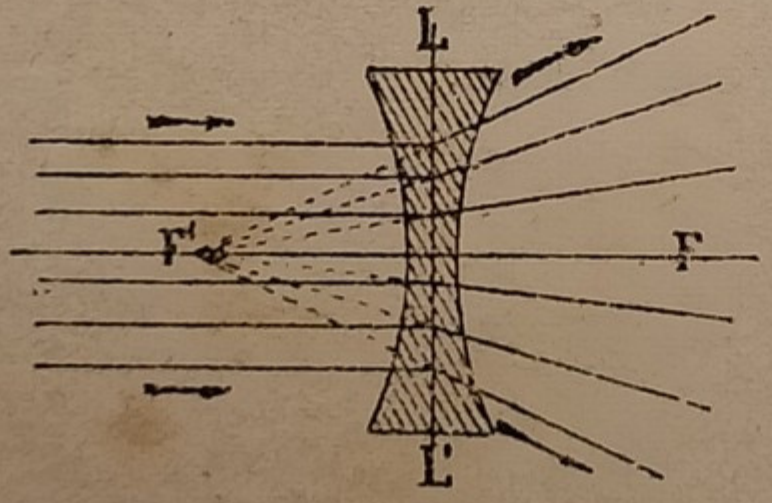


Fig. 112.

Inversamente, se raggi luminosi, come E D, L I (fig. 111) cadono su una lente divergente diretti verso il suo foco virtuale principale F, dopo la rifrazione essi divengono paralleli all'asse principale, perchè gli angoli di rifrazione divengono d'incidenza, ecc.

2. Prova sperimentale. — Se in oscura stanza si fa cadere su di una lente divergente un fascio di raggi solari paralleli si vede uscire dalla opposta faccia della lente un fascio divergente il cui vertice si trova dalla parte dei raggi incidenti in un punto F′ (fig. 112).

Inversamente, se si fa cadere su di una lente divergente un fascio conico convergente verso un punto F′, si vede uscire dalla lente divergente un fascio di raggi paralleli.

3. Fuoco virtuale secondario. — Sia P (fig. 113) un punto raggiante collocato ad una distanza finita da una lente divergente, in modo che i raggi partenti da quello arrivino su questa divergenti. Se i raggi paralleli al suo asse principale attraversandola divengono divergenti come se provenissero da un punto F′ (fig 112) che è il foco virtuale principale, egli è evidente che i raggi (come P I, fig. 113), divergenti da un punto P, attraversando la lente divergente, debbono divenire ancora più divergenti, come se provenissero da un punto P′ più vicino alla lente del punto F′, e che si avvicina a questa coll'avvicinarsi del punto raggiante. Perciò un occhio che riceva i detti raggi vede il punto raggiante P in P′ che è il *foco virtuale secondario*.

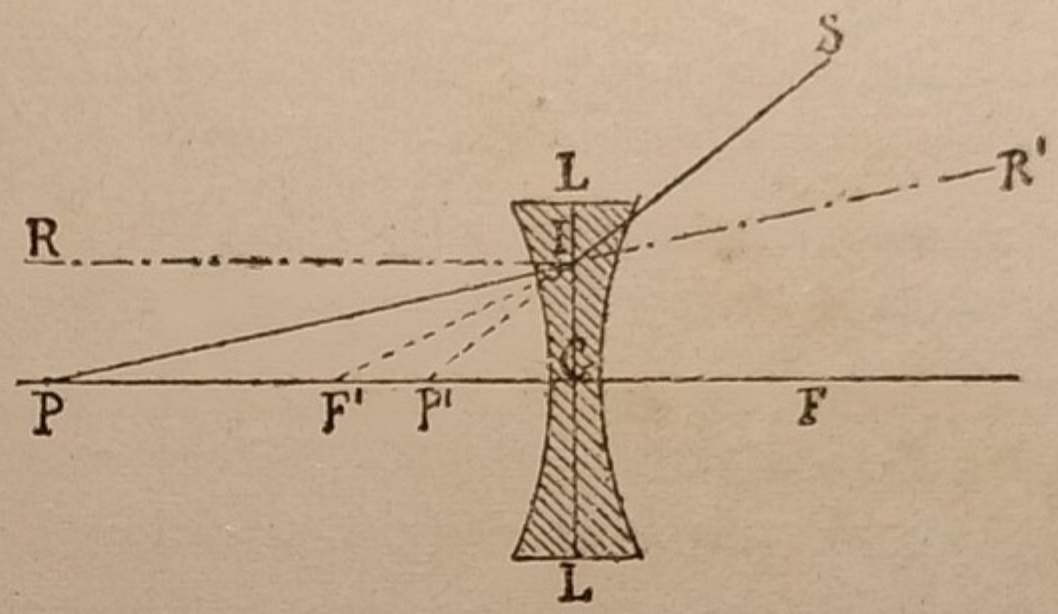


Fig. 113.

Dunque: *i raggi divergenti attraversando una lente divergente divengono ancora più divergenti fra loro, permodochè non si incontrano, ma si incontrano bensì i loro prolungamenti dalla parte d'onde provengono, in un punto che è tanto più vicino alla lente quanto più vicino a questa è il punto raggiante.*

Inversamente, se un fascio di raggi convergenti verso un punto P′ (fig. 113) attraversa una lente divergente, questa li rende meno convergenti, permodochè si incontrano in un punto P tanto più lontano dalla lente quanto più vicino al foco virtuale principale F′ era il punto di convergenza P′.

Il che si può anche provare sperimentalmente.

4. Formola delle lenti divergenti. — Usando le medesime notazioni che per le lenti convergenti (pag. 210), si dimostra che per le divergenti esiste la relazione:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=-\frac{1}{f},$$

dalla quale si ricava:

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{f} - \frac{1}{p} = -\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{p}\right) = -\frac{p+f}{pf},$$

$$q = -\frac{pf}{p+f} = -\frac{f}{1+\frac{f}{p}},$$

il quale valore negativo di q significa che il foco si forma dalla parte stessa del punto raggiante, ossia è virtuale.

Attribuendo a p i valori: ∞, o.
si ottengono per q i valori: $-f$ e $-o$

il che conferma quanto si è già esposto colla costruzione grafica.

5. Immagini date dalle lenti divergenti. — Sia AB (fig. 114) un oggetto collocato dinanzi ad una lente divergente.

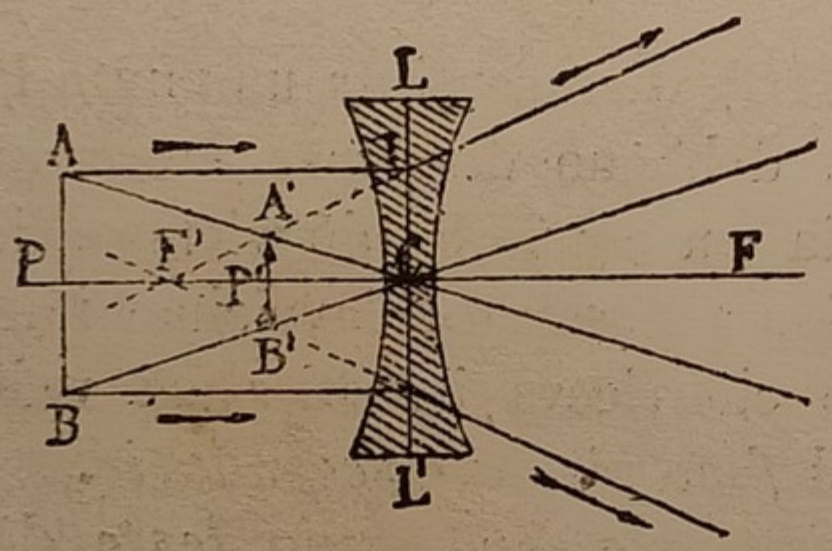


Fig. 114.

Per determinare graficamente l'immagine si conducono pei punti estremi AB, e pel centro ottico C gli assi secondarii AC, BC che rappresentano i raggi non deviati; quindi dal punto A si tira il raggio AI, parallelo all'asse principale, fino all'incontro del diametro LL′, e analogamente pel punto B. Questi raggi attraversando la lente divengono divergenti in modo che i loro prolungamenti vengono ad incontrarsi nel foco virtuale F′, ma prima intersecano gli assi secondari nei punti A′ e B′, che sono i fochi coniugati virtuali dei punti A, B. Siccome i fochi dei punti intermedi fra A e B si formano fra A′ e B′, ne risulta che un occhio il quale accoglie i raggi emergenti vede in A′B′ un'immagine *virtuale, diritta e tanto più piccola dell'oggetto quanto più questo è lontano*, ed inversamente.

Infatti, se l'oggetto fosse a distanza infinita, l'angolo ACB degli assi secondari sarebbe infinitamente piccolo, e l'immagine sarebbe bensì allontanata dalla lente, ma solo fino al foco principale, ove sarebbe infinitamente piccola; mentre se l'oggetto si avvicina alla lente, cresce l'angolo ACB che limita l'immagine,

e quando l'oggetto fosse in contatto colla lente l'immagine sarebbe pure in contatto, e perciò avrebbe la stessa grandezza dell'oggetto, che è la massima grandezza che essa possa avere.

6. Prova sperimentale. — Osservando un oggetto, per es. una fiamma, attraverso una lente divergente, si vede un' immagine virtuale, dritta e tanto più piccola, quanto più l'oggetto è lontano, ed inversamente.

§ 39. Spettro solare.

1. Prima esperienza. — Se per un foro A (fig. 115), praticato nell'imposta della finestra di una camera oscura, si fa entrare in essa un fascio di raggi solari paralleli, questo incon-

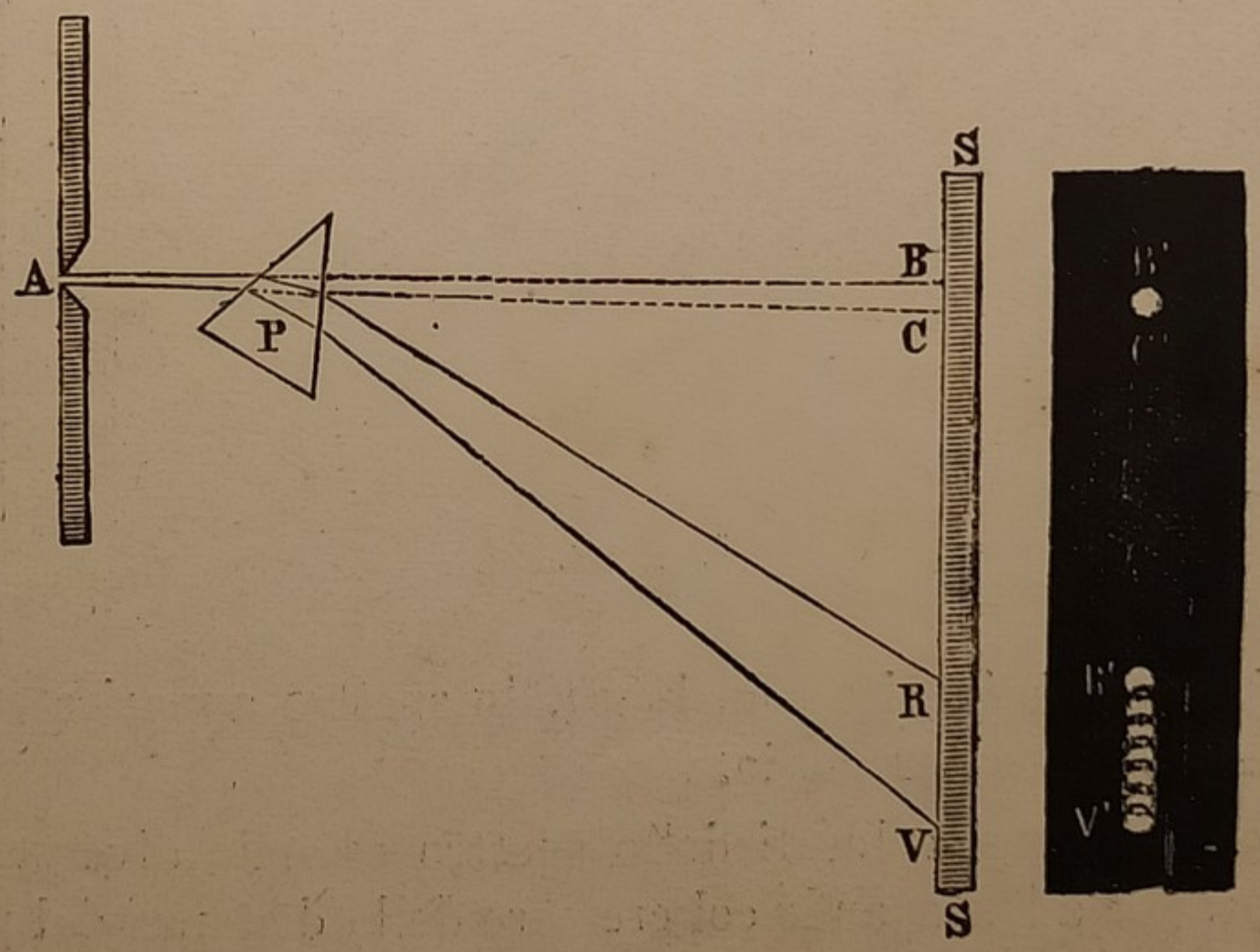


Fig. 115.

trando uno schermaglio bianco controstante S S presenta sul medesimo un cerchietto luminoso B C, od immagine circolare del sole. Indi se si interpone sul tragitto dei raggi un prisma P, allora si vede che quelli non solo sono deviati verso la base del prisma, ma divengono ancora divergenti fra loro a guisa di ventaglio P R V, avente i colori dell'iride, cosicchè, incontrando

lo schermo presentano sul medesimo una striscia allungata in direzione perpendicolare agli spigoli del prisma, ed iridiscente, col rosso ad un'estremità, e il violetto all'altra, la quale chiamasi *spettro solare*.

Questo risulta dalla sovrapposizione parziale di tanti cerchietti colorati, come è indicato in R′ V′.

Siccome la lunghezza dello spettro è perpendicolare agli spigoli del prisma perciò quello risulta verticale od orizzontale secondochè il prisma è orizzontale o verticale, e, secondochè la

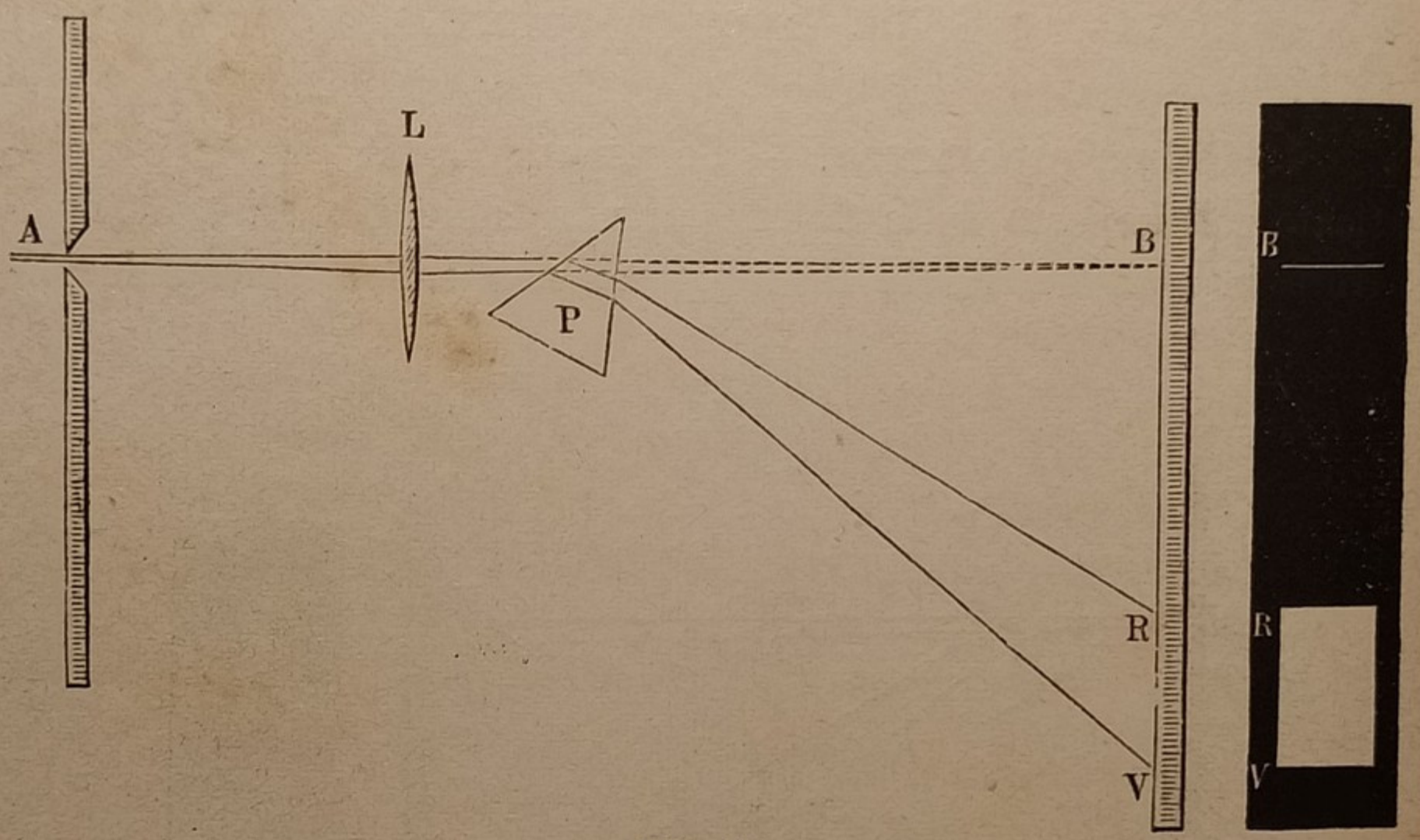


Fig. 116.

base di questo è in alto o in basso, lo spettro apparisce in alto o in basso sullo schermaglio.

Di più i raggi colorati dello spettro essendo divergenti fra loro si vanno allontanando col crescere della distanza dal prisma. Perciò *si ottiene uno spettro sempre più lungo* a misura che si ricevono i raggi su uno schermaglio più lontano dal prisma. Ma mentre cresce la lunghezza dello spettro diminuisce la sua intensità luminosa.

2. Seconda esperienza. — Si ottiene uno spettro più puro, cioè coi colori più distinti, facendo dapprima entrare la luce nella camera oscura per una sottile fenditura A (fig. 116) di un millimetro circa di larghezza, e collocando sul tragitto dei raggi

una lente convergente L, ad una distanza dalla fenditura compresa fra la semplice e la doppia distanza focale della lente, in guisa che essa generi sullo schermaglio, collocato alla distanza del foco coniugato della fenditura, un'immagine B di quella, reale e coniugata. Quindi, nella direzione dei raggi resi convergenti dalla lente si colloca il prisma P, cogli spigoli paralleli alla fenditura, *al minimum di deviazione* (pag. 202), ed infine si dispone lo schermaglio alla distanza primitiva dal prisma, e in modo che i raggi deviati arrivino sul medesimo presso a poco perpendicolarmente. Così risulta uno spettro coi colori ben distinti, e limitato da linee rette, anche alle estremità.

3. Spettro obbiettivo e soggettivo. — Lo spettro così ottenuto si dice *obbiettivo*, perchè si può raccogliere su un diaframma, e rendere così visibile contemporaneamente a molte persone come un oggetto.

Ma si può vedere lo spettro *soggettivamente*, ed anche senza la luce solare diretta, guardando semplicemente una sottile fenditura, illuminata dalla luce diffusa del cielo, a traverso un prisma, i cui spigoli sono paralleli alla fenditura. In tal caso lo spettro dicesi *soggettivo*.

4. Colori dello spettro. — Per analogia colle 7 note musicali Newton distinse nello spettro 7 colori, i quali, procedendo dai raggi meno deviati a quelli più deviati verso la base del prisma, sono: *rosso*, *aranciato*, *giallo*, *verde*, *azzurro*, *indaco* e *violetto*.

Siccome però il passaggio da un colore all'altro non avviene a salti, ma gradatamente, così si potrebbero distinguere colori intermedii; perciò la scala di 7 colori adottata da Newton è affatto arbitraria, e i colori dello spettro si possono dire infiniti.

L'estensione dei diversi colori dello spettro è diversa e varia colla natura del prisma.

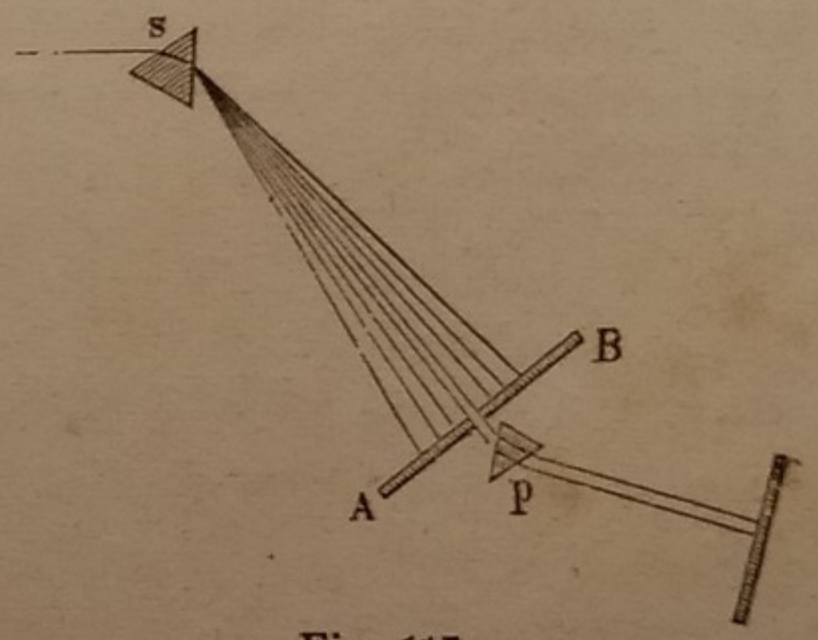


Fig. 117.

5. Semplicità dei colori dello spettro. — Se si riceve lo spettro solare su di un diaframma nero (A B, fig. 117) munito

di una sottile fenditura parallela agli spigoli del prisma che dà lo spettro, per la quale possono passare solo i raggi di un medesimo colore, rosso, verde, ecc., e poi si fanno passare questi a traverso un secondo prisma P, si vede che esso li devia bensì verso la sua base, ma non li decompone ulteriormente.

6. Diversa refrangibilità dei raggi. — *I raggi colorati componenti la luce bianca hanno una refrangibilità crescente dal rosso al violetto.*

Il che è già provato dal fatto che essi sono successivamente più deviati verso la base del prisma che li separa.

Lo stesso si prova direttamente con diverse esperienze, fra le quali la seguente è più semplice. Se nella precedente esperienza si fa girare il primo prisma, quello cioè che produce lo spettro, in modo che passino successivamente per la fenditura dello schermaglio, e quindi pel secondo prisma, i raggi rossi, gialli, verdi, celesti, violetti, si vede che questi sono successivamente più deviati verso la base del secondo prisma.

7. Condizioni da cui dipende la lunghezza dello spettro. — *La lunghezza dello spettro varia col variare dell'angolo d'incidenza dei raggi.* — Ciò si prova facendo girare il prisma attorno al suo asse, perchè si vede così variare la lunghezza dello spettro. Ma lo spettro più netto si ottiene mettendo il prisma al *minimum* di deviazione, cioè in modo che gli angoli d'incidenza e di emergenza siano eguali (pag. 202).

A parità di indice di rifrazione la lunghezza dello spettro cresce col crescere dell'angolo rifrangente del prisma. — Il che si può provare con un prisma scaleno, i cui angoli rifrangenti sono diseguali, il quale, collocato al *minimum* di deviazione, dà uno spettro più lungo col massimo angolo rifrangente e più corto col minimo angolo.

Ad angolo rifrangente eguale la lunghezza dello spettro cresce, in generale, col crescere dell'indice di rifrazione del prisma, sebbene non sia proporzionale al medesimo.

Ciò si può provare con due prismi di eguale angolo rifrangente, ma l'uno di *crown* e l'altro di *flint*. Facendo passare i raggi solari pei medesimi collocati al *minimum* di deviazione, in modo che diano lo spettro più puro, si vede che la lunghezza di quello del flint è circa doppia di quello dato dal crown.

8. Ricomposizione della luce bianca con una lente convergente. — Se si fa cadere lo spettro prodotto da un prisma

S (fig. 118) su di una lente convergente *l*, la quale riunisce i raggi nel suo foco coniugato *f*, ivi collocando uno schermaglio bianco si vede nuovamente la luce bianca.

Ponendo lo schermaglio prima del foco coniugato della lente ricompare la colorazione, perchè i raggi non sono ancora riuniti; e se lo schermaglio è al di là del foco coniugato riappariscono pure i colori dello spettro, ma in ordine inverso, perchè i raggi si incrociano nel foco.

Lo stesso risultato si ottiene riunendo i raggi nel foco coniugato di uno specchio concavo.

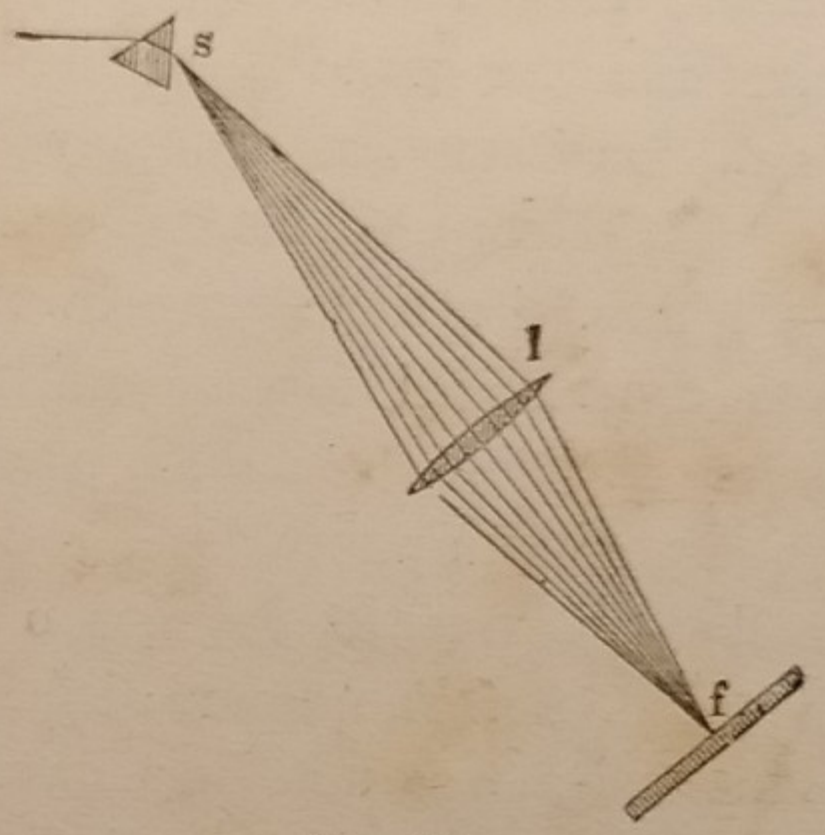


Fig. 118.

9. Colori complementari. — Se poi, mentre lo schermaglio è nel foco della lente o dello specchio, ove appare il bianco, si intercetta con un diaframma una parte o l'altra dei raggi colorati che arrivano sulla lente o sullo specchio, allora si osserva la luce focale sullo schermaglio tingersi del colore risultante dal miscuglio dei colori rimanenti che attraversano la lente.

Per es., se si intercettano i raggi dell'estremità rossa fino al mezzo del verde prima che essi arrivino alla lente, si vede la luce nel foco di questa tingersi in azzurro; essa diviene all'incontro gialla quando si intercettano i raggi della metà del verde all'estremità violetta. Dunque questa tinta gialla aggiunta alla precedente azzurra costituisce luce bianca.

Due colori i quali riuniti danno il bianco diconsi complementari. Ciascun colore ha il suo complementare, perchè, se non è bianco, gli mancano certi raggi colorati per costituire il bianco, i quali, riuniti, producono un colore che è il complementare.

10. Ricomposizione della luce bianca con due prismi. — *Si ricompone anche la luce bianca mediante due prismi di eguale sostanza e di eguale angolo rifrangente disposti inversamente.* — Così, se in un recipiente di forma cubica, diviso per metà da una lastra diagonale di vetro, si versa un liquido qualunque, per es. acqua, in uno degli scompartimenti, si ha un prisma rettangolo con due angoli semiretti, che attraversati da un fascio di luce bianca dànno uno spettro. Versando poi acqua nell'altro scompartimento risulta un prisma dello stesso angolo rifrangente, ma disposto inversamente, il quale distrugge l'effetto

del primo, cioè rende nuovamente paralleli i raggi, di guisa che il fascio emergente è bianco.

Lo stesso risultato si ottiene con due prismi qualunque, purchè di eguale sostanza e di eguale angolo rifrangente e disposti inversamente, in modo da costituire un mezzo a faccie piane parallele. Non è neppure necessario che i due prismi sieno a contatto.

11. Ricomposizione della luce bianca col disco di Newton. — Infine, si ottiene pure la *ricomposizione della luce bianca* con esperimenti fondati sul fenomeno della *persistenza delle immagini sulla rètina*, il quale consiste in ciò, che le immagini prodotte in un punto dalla rètina non spariscono immediatamente collo spostamento del corpo luminoso, ma durano circa $^1/_7$ di secondo. Perciò, quando si fa girare rapidamente un carbone rovente, si scorge una linea luminosa continua.

Ciò posto, mediante il detto fenomeno fisiologico, si dimostra che i sette colori dello spettro formano la luce bianca col *disco di Newton*. Questo consiste in un disco sul quale sono dipinti dei settori colorati colle tinte dello spettro il più esattamente possibile.

Ponendo il disco in rapida rotazione attorno al suo asse esso presenta una tinta tanto più prossima al bianco quanto più le tinte dei settori colorati sono prossime a quelle dello spettro pel colore e l'estensione. Perchè, se il disco fa 10 giri in 1', l'occhio vede ciascun settore in una posizione e in quella diametralmente opposta dopo $^1/_2$ decimo di secondo, ossia prima che sia svanita l'immagine del settore nella primitiva posizione. Ciascun settore colorato perciò produce nell'occhio l'impressione di un disco intiero. Esso ha così contemporaneamente l'impressione di altrettanti dischi quanti sono i settori, e perciò vede un disco del colore risultante dai diversi colori dei settori. Ordinariamente però il disco appare solo bigio perchè i colori dei settori non sono esattamente quelli dello spettro, e perchè non è intensamente illuminato.

12. L'impressione della luce bianca risulta anche mediante quella di due soli colori semplici. — Le esperienze precedenti provano che dalla riunione dei raggi colorati dello spettro si ha l'impressione del bianco. Tuttavia non si deve credere che per avere l'impressione del colore bianco sia necessario il concorso di tutti i colori dello spettro, perchè Helmholtz ha

provato che il colore bianco può risultare anche dall'impressione di due soli colori semplici; per es. si vede luce bianca per l'impressione contemporanea dell'azzurro semplice con l'aranciato semplice, come pure per quella del giallo e dell'indaco, dell'azzurro verdastro e del rosso.

13. Linee di Fraunhofer. — Se con un prisma di flint, o meglio di solfuro di carbonio che dà uno spettro più lungo, e con una lente convergente, si proietta su un diaframma bianco uno spettro solare puro, si osserva che esso non è continuo, ma è interrotto perpendicolarmente alla sua lunghezza da un gran numero di righe trasversali oscure. Esse appaiono tanto meglio quanto più lungo è lo spettro e più sottile, fino ad un certo limite, la fenditura.

Alcune di queste linee vennero dapprima (nel 1802) vedute da Wollaston, ma furono poi (1814) osservate in gran numero da Fraunhofer e perciò si dicono *linee di Fraunhofer*, il quale

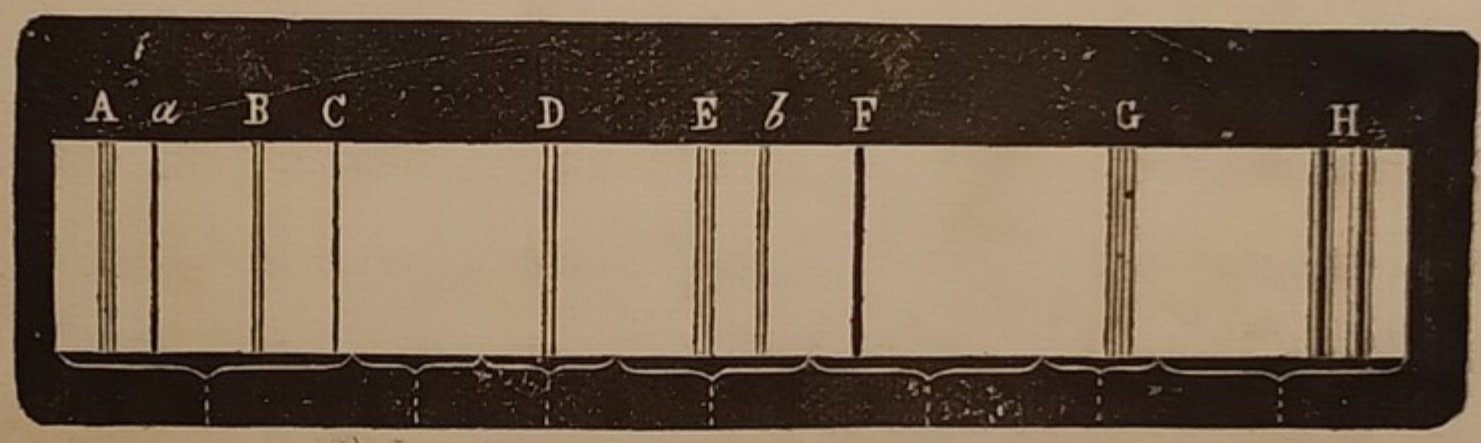


Fig. 119.

però non esaminò lo spettro obbiettivamente, cioè proiettandolo su di uno schermaglio, ma bensì lo osservò soggettivamente, con un cannocchiale collocato immediatamente dopo il prisma, e nel quale entravano i raggi rifratti da quello. Egli ne contò 574. Oggidì se ne contano più di 3000.

Esse sono inegualmente distribuite nello spettro. Alcune sono assai fine ed appaiono isolate; altre, all'incontro, stanno assai vicine e riunite in gruppi; e ve ne hanno talune le quali con più considerevole ingrandimento appaiono composte di altre più sottili.

Per avere dei punti di ritrovo in tale confusione Fraunhofer ne distinse, colle lettere A, B, C, D, E, F, G, H, otto principali, le quali presentano il doppio vantaggio di essere facilmente riconoscibili e di dividere lo spettro in un certo numero di parti distinte.

Le righe A, B, C (fig 119) giacciono nel rosso, la 1ª, nel

rosso scuro, è poco visibile, la 2ª nel mezzo di questo colore, la 3ª verso l'aranciato, D è nel giallo, ove è più viva la luce, E fra il giallo e il verde, F nell'azzurro verdastro, G nell'indaco, ed infine la riga H, che è doppia, giace nel violetto.

Vi sono poi molte altre righe minori interposte fra le precedenti, le quali si distinguono colle lettere piccole, e con quelle dell'alfabeto greco. Così vicinò ad A vi è una riga che si indica colla lettera *a*, e vicino ad E vi è una riga distinta colla lettera *b*. Infine, delle dette linee alcune sono semplici, altre composte di più righe vicinissime.

14. Lunghezze delle onde luminose e numeri di vibrazioni. — Di più, Fraunhofer determinò le lunghezze d'onda, corrispondenti alle otto linee principali, in milionesimi di millimetro, e trovò i numeri seguenti:

A	B	C	D	E	F	G	H
760	687	656	589	527	486	431	396.

Le onde luminose sono perciò di una estrema piccolezza; sulla lunghezza di 1 *mm.* stanno $\frac{1}{0{,}000760} = 1315$ onde dell'estremo rosso (linea A), 1698 onde della luce gialla (D), e 2542 onde dell'estremo violetto (H).

Da tali lunghezze delle onde si possono dedurre i numeri di vibrazioni delle particelle dell'etere nei raggi luminosi, i quali numeri sono compresi fra circa 400 trilioni per secondo, che costituiscono i raggi rossi estremi dello spettro, e 800 trilioni che costituiscono i raggi violacei estremi.

Infatti dalla formola $\lambda = \frac{v}{n}$ che esprime la lunghezza delle onde (vol. I, pag. 267) si ricava $n = \frac{v}{\lambda}$. Ora nel caso della luce si ha $v = 300\,000\,000$ di metri (pag. 160), e per i raggi corrispondenti alla riga A dell'estremo rosso si ha dalla precedente tavola $\lambda = 0{,}000760$ *mm.*; quindi sostituendo questi numeri nella formola risulta:

$$n = \frac{v}{\lambda} = \frac{300\,000\,000\,000 \text{ } mm.}{0{,}000\,760 \text{ } mm.} = \frac{300\,000\,000\,000\,000\,000}{760}$$

quoziente assai prossimo a 400 trilioni.

Parimenti per i raggi corrispondenti alla riga H, per cui $\lambda = 0{,}000\,396$ *mm.*, si ha:

$$n = \frac{v}{\lambda} = \frac{300\,000\,000\,000 \text{ } \frac{mm.}{mm.}}{0{,}000\,396} = \frac{300\,000\,000\,000\,000\,000}{396}$$

numero prossimo a 800 trilioni.

15. Significato delle linee oscure dello spettro solare e loro importanza. — Le linee oscure dello spettro solare dimostrano poi che nella luce solare non si trovano tutti i numeri di vibrazioni compresi fra 400 e 800 trilioni, ma ne mancano molti. Si vedrà più innanzi, nell'analisi spettrale, l'interpretazione di tale mancanza. Per ora basta notare che esse costituiscono uno dei più importanti argomenti della Fisica moderna, perchè danno la chiave per la conoscenza della costituzione fisico-chimica del sole e delle altre stelle fisse, e, di più, esse servono per la misura degli indici di rifrazione (pag. 190).

16. Spettro calorifico. — Esplorando con delicati termometri la distribuzione del calore nello spettro solare si è trovato che quello va aumentando dal violetto fino un poco al di là del rosso, e poi va decrescendo fino a divenire nullo ad una distanza dal principio del rosso alquanto maggiore della lunghezza dello spettro luminoso. D'onde si deduce, che *nella luce solare, oltre ai raggi calorifici luminosi, esistono raggi calorifici oscuri, meno refrangibili di quelli, i quali si estendono per una lunghezza alquanto maggiore di quella dello spettro luminoso,* e si dicono *ultrarossi.*

Per tutte le misure ed esperienze sui raggi ultrarossi si adopera uno speciale termometro elettrico che si farà conoscere nella elettricità, e i raggi solari si fanno passare per lenti e prismi di salgemma, sostanza trasparente tanto pel calore luminoso, quanto pel calore oscuro, mentre il vetro comune assorbe i raggi oscuri.

17. Spettro chimico. — La chimica insegna con numerosissimi esempi (fra i quali assai importanti quelli relativi ai sali di argento) che la luce è capace di produrre combinazioni e scomposizioni chimiche; ora se si fa cadere su di una lastra fotografica preparata coi sali di argento uno spettro ottenuto con una lente ed un prisma di quarzo, sostanza diafana pei raggi chimici, e poi si sviluppa l'immagine col processo fotografico, si trova che *l'azione della luce si estende dalla linea* E *di Fraunhofer, cioè dalla fine del verde, fino al di là del violetto per un'estensione presso a poco eguale a quella dello spettro luminoso.*

Questa azione chimica è nulla nel rosso, debolissima nel giallo e verde, cresce rapidamente e diviene massima nel violetto, e poi decresce oltre questo, nella parte invisibile ultravioletta, fino alla detta distanza.

Tali raggi che non agiscono sull'occhio, ma sono capaci di effetti chimici, si dicono *attinici*. Essi si manifestano più o meno oltre la linea H del violetto estremo, secondo la natura del prisma che dà lo spettro, la sorgente da cui provengono, e la sostanza sensibile su cui agiscono.

§ 40. Acromatismo.

1. Aberrazione cromatica delle lenti. — Le lenti ordinarie presentano un difetto che si dice *aberrazione cromatica*, il quale consiste in ciò che, mentre esse deviano la luce, la scompongono pure perchè agiscono come prismi.

Infatti ricevendo su uno schermaglio un fascio conico di raggi rifratto da una lente se ne vede il contorno colorato.

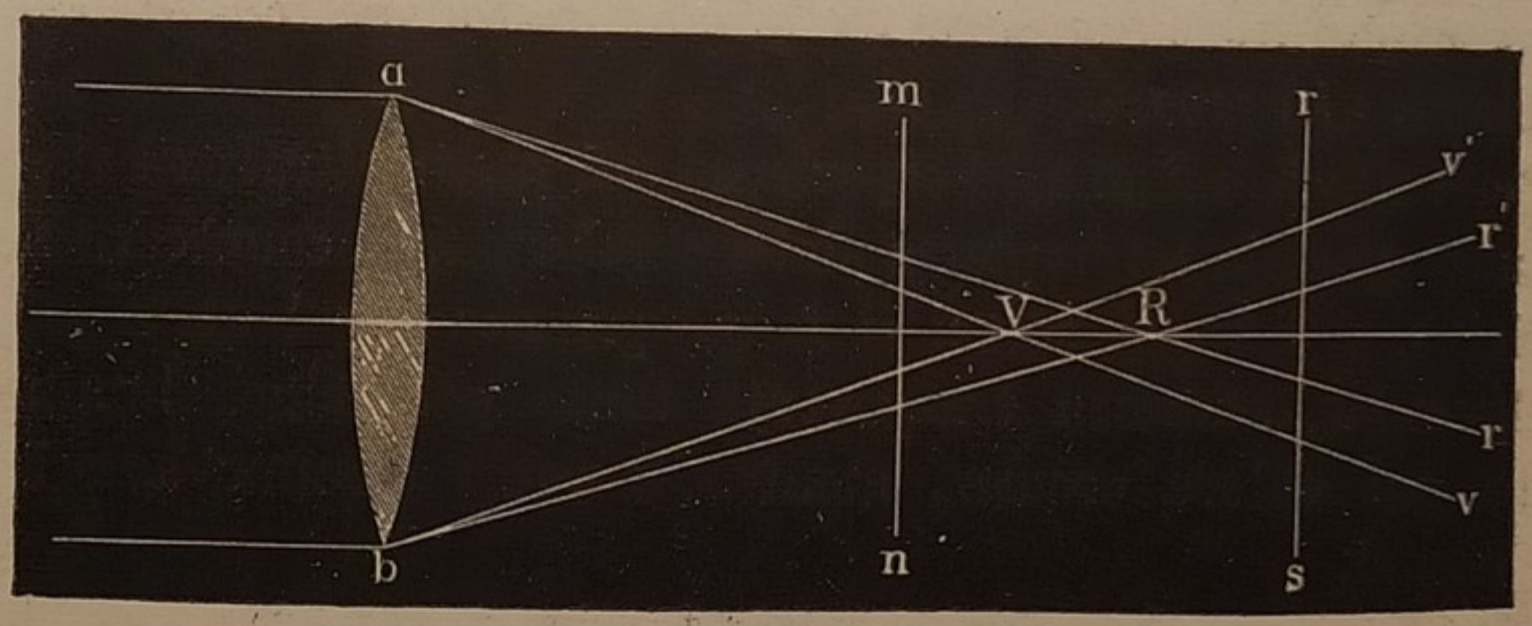


Fig. 120.

E se si osserva un oggetto, per es., le lettere di uno scritto, con una lente convergente, si veggono i contorni iridescenti specialmente se tale lente è alquanto obliqua sulla direzione dei raggi luminosi e lontana dall'occhio.

Il che si spiega osservando che quando su una lente convergente *a b* (fig. 120) cade un fascio di raggi paralleli i violetti più rifratti formano il foco in un punto V più vicino alla lente che non quello R dei raggi rossi meno rifratti. (Nella figura la distanza R V è esagerata per renderla più manifesta; in realtà sarebbe circa $^1/_{40}$ della distanza focale per le lenti di crown e $^1/_{20}$ per quelle di flint). Perciò se si interseca il fascio rifratto

con un diaframma bianco posto in mn, tra la lente e il foco V, si vede un cerchio luminoso, bianco nell'interno, ove sono mescolati i raggi di tutti i colori che provengono dai diversi punti della superficie della lente, mentre il contorno del cerchio appare colorato dai raggi rossi e gialli a R, b R meno deviati. Invece collocando il diaframma in rs al di là del foco R, il contorno del cerchio appare colorato dai raggi più rifratti a V v, b V v', violetti e azzurri, che ivi divengono esterni.

2. Relazione fra la dispersione e l'indice di rifrazione. — Se con prismi di ugual angolo rifrangente, ma di sostanze diverse. per es. flint, crown, acqua, si proiettano diversi spettri puri su di un medesimo schermo, si vede che essi presentano diversa lunghezza, e cioè, che lo spettro del flint è circa doppio di quello del

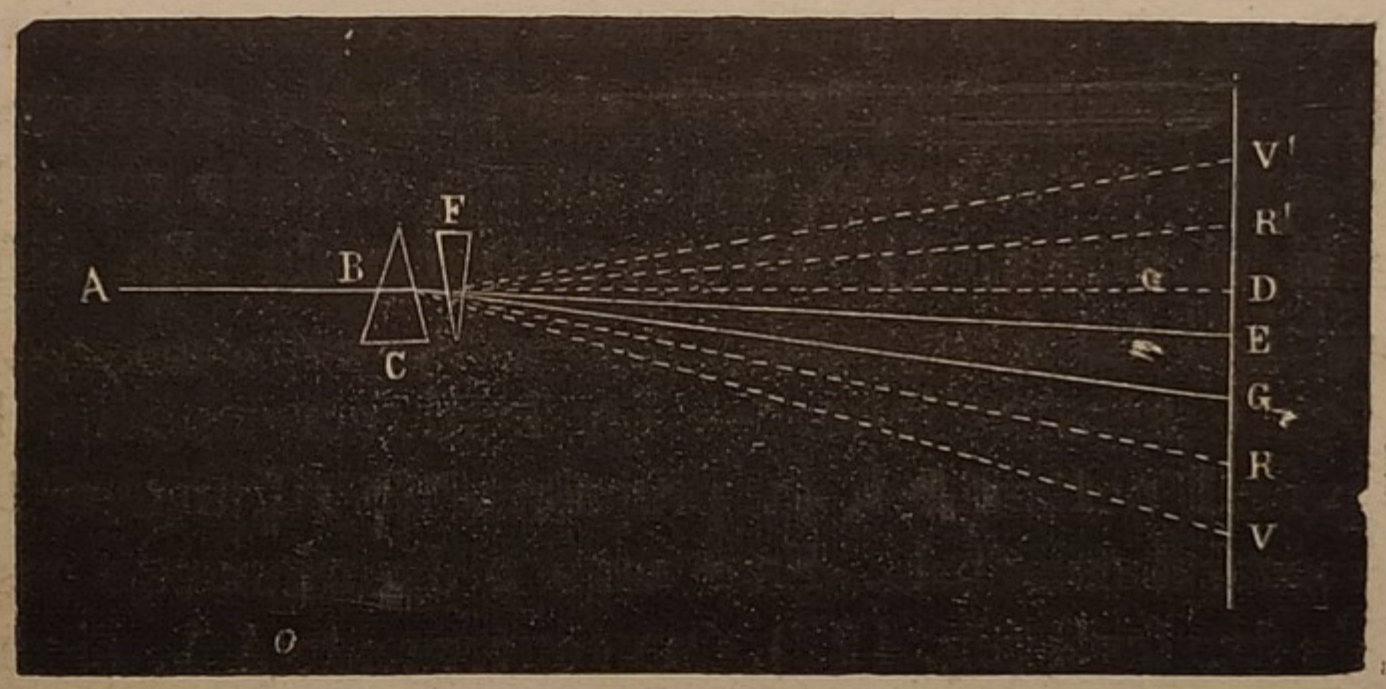


Fig. 121

crown, e circa triplo di quello dell'acqua ; ora l'indice di rifrazione del flint non è doppio di quello del crown e non è triplo di quello dell'acqua (pag. 191). Quindi, denominando *dispersione totale la differenza di deviazione che provano i raggi violacei e rossi estremi* attraversando un prisma, risulta che: *la dispersione prodotta da un prisma non è proporzionale all'indice di rifrazione.*

3. Acromatismo dei prismi. — Per il fatto ora esposto si possono costrurre prismi e lenti che deviano la luce senza scomporla sensibilmente, i quali perciò diconsi *acromatici*.

Per provare sperimentalmente come sia possibile deviare la luce senza scomporla si può fare entrare in una camera oscura un fascio di luce solare A B (fig. 121) che si riceve sopra un diaframma in D. Poi si interpone sul tragitto di una parte del fascio un pic-

colo prisma C di crown col vertice, per es., in alto, il quale dà un piccolo spettro R V verso la base del prisma, cioè in basso, che si riceve sullo schermaglio notando la distanza del medesimo dai raggi incidenti, i quali non essendo tutti intercettati dal prisma arrivano ancora in parte sullo schermaglio in D. Poscia si fa passare una parte del fascio solo a traverso un prisma F di flint, il quale ha il vertice in basso, e un angolo rifrangente circa metà di quello di crown, e perciò proietta sullo schermaglio, al disopra del fascio incidente, uno spettro R′V′, di eguale estensione del primo (per essere la dispersione del flint circa doppia di quella del crown) ma meno deviato verso la sua base che lo spettro del crown (perchè il prisma di flint ha solo un angolo rifrangente circa metà dell'altro prisma). Infine si fa passare una parte del fascio luminoso contemporaneamente attraverso i due prismi collocati l'uno di fianco all'altro nella detta posizione inversa, e si vede sullo schermaglio, in E G, che il fascio attraversante i medesimi non è più colorato, ma è ancora deviato verso la base del prisma di crown, di una quantità eguale alla differenza delle deviazioni dei due prismi.

4. Lenti acromatiche. — Le lenti acromatiche hanno, come i prismi acromatici, la proprietà di rifrangere la luce senza decomporla. Esse sono ordinariamente costituite da due lenti (fig. 122), una convergente A A, biconvessa, di crown, l'altra B B concavo convessa divergente di flint, la quale annulla la dispersione prodotta dalla prima senza annullare la deviazione, e quindi la convergenza dei raggi luminosi prodotta da quella, a quel modo che il prisma di flint, nell'esperienza precedente, non annulla la deviazione prodotta dal prisma di crown.

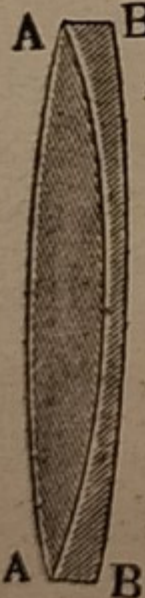


Fig. 122.

Infatti, se si fa passare un fascio di raggi paralleli per la sola lente convergente di crown, essa dà un fascio conico col contorno colorato dai raggi meno rifrangibili prima del foco, ed inversamente dopo questo (pag. 228). Se si fa attraversare lo stesso fascio parallelo solo per la seconda lente divergente di flint, essa lo rende divergente colorandone il contorno coi raggi più refrangibili. Se poi si fa attraversare il fascio contemporaneamente per le due lenti, si vede che esso non è più colorato nel contorno, ma è ancora convergente, seb-

bene meno di quanto lo era per la sola azione della lente convergente.

Il che avviene per ciò che la lente divergente di flint distrugge l'aberrazione cromatica prodotta dalla lente convergente di crown senza annullare la convergenza dei raggi prodotta da questa.

Nelle lenti, come nei prismi, si richiederebbero sette vetri per ottenere l'acromatismo perfetto; ma negli strumenti d'ottica se ne adoperano solo due, od al più tre, dando loro la curvatura necessaria per acromatizzare i raggi medii corrispondenti alle linee C ed F di Fraunhofer.

§ 41. L'occhio e la visione.

1. Struttura generale dell'occhio. — L'occhio umano, e degli animali superiori, è un globo cavo, il cui involucro è costituito da tre tessuti principali: l'esterno, detto *sclerotica* nella parte posteriore opaca, e *cornea* nella parte anteriore trasparente; il mediano, che si dice *coroide*, e l'interno che è la *rètina*. La cavità interna è poi ripiena da tre mezzi rifrangenti, che, per ordine di disposizione dall'innanzi all'indietro, sono: l'*umore acqueo*, *il cristallino* e l'*umor vitreo*.

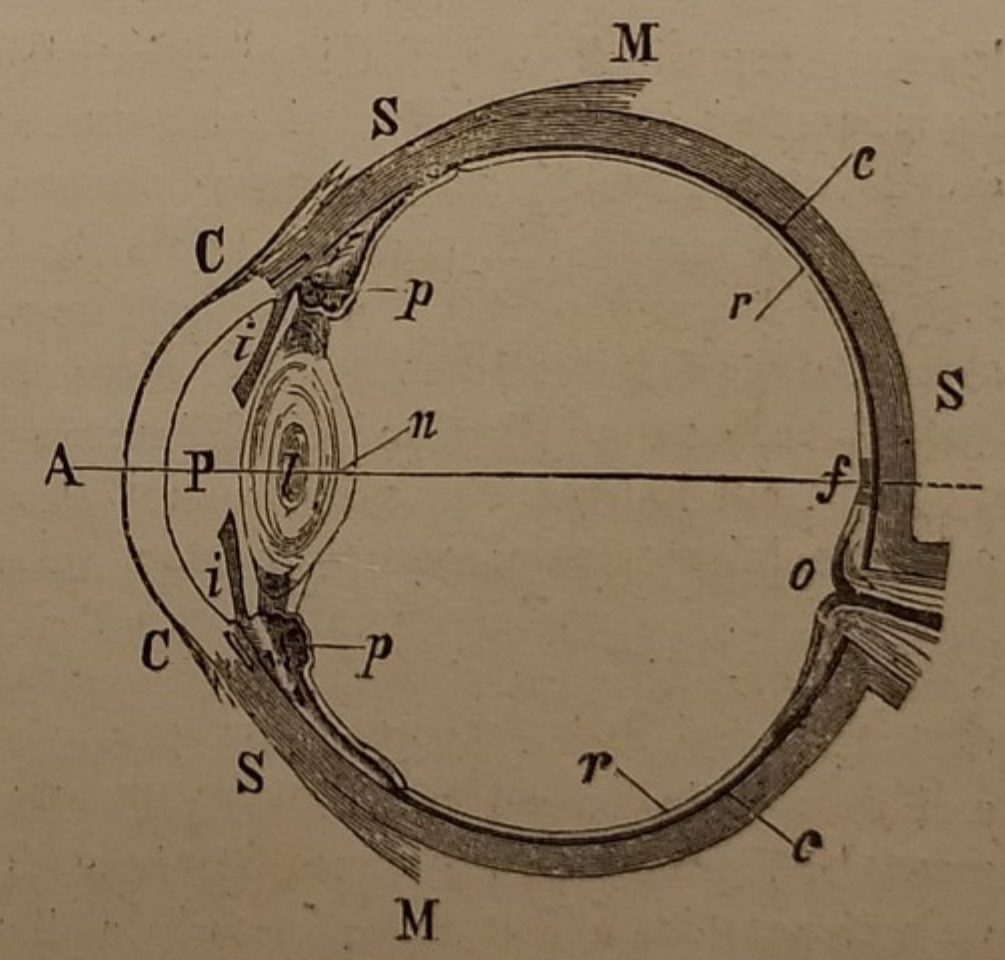


Fig. 123.

2. Sclerotica e cornea. — La sclerotica (SSS fig. 123, la quale rappresenta la sezione orizzontale dell'occhio umano destro), è un tessuto consistente, opaco e bianco (costituente il bianco dell'occhio) che avvolge tutto il globo oculare ad eccezione della parte anteriore, ove si unisce ad una calotta (CC) più curva e trasparente, come un vetro da orologio, che è la *cornea*.

Alla parte anteriore della sclerotica si attaccano 6 muscoli, 4 retti (MM) e 2 obliqui, che servono a muovere il globo oculare.

3. La coroide e l'iride. — La coroide (*cc*) è una membrana fibrovascolare che tappezza internamente la sclerotica, ed avente la faccia interna ricoperta da una sostanza nera (detta *pigmento*), che manca negli *albini*. Essa ha per iscopo di impedire la diffusione dei raggi nell' interno dell'occhio, e si estende fino al contorno della sclerotica, ove si unisce ad una corona di pieghe raggianti (*pp*), dette *processi ciliari*, e poi all'iride (*ii*), che è un diaframma con un foro centrale (P), la *pupilla*, pel quale passano i raggi luminosi che entrano nell'occhio, e che lascia vedere il fondo nero interno del medesimo, d'onde il *colore nero della pupilla*, mentre il colore proprio dell'occhio dipende da quello dell'iride. Questa è munita di fascetti fibrosi radiali e anulari, mediante i quali si estende *involontariamente*, in guisa da diminuire l'apertura della pupilla e lasciar entrare minor quantità di luce, quando questa è molto viva, come pure nell'osservazione di oggetti vicini, mentre si contrae in guisa da aumentare l'apertura della pupilla e lasciar entrare maggior copia di luce, quando questa è debole, come pure nell'osservazione di oggetti lontani.

4. La rètina. — Il nervo ottico (*o*) entra nell'occhio a traverso la sclerotica e la coroide, e poi si espande in modo da costituire una membrana detta *rètina* (*rr*), o *retìna*, la quale tappezza internamente la coroide.

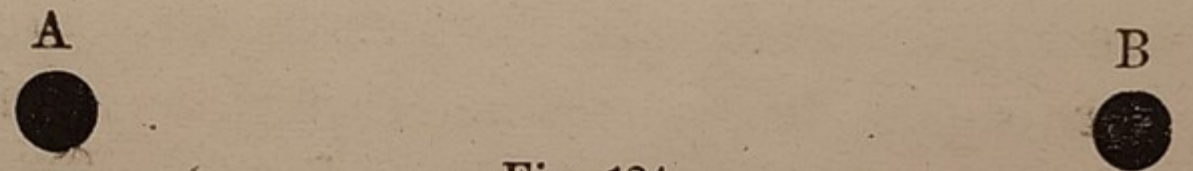


Fig. 124.

La superficie della rètina è formata da una palizzata di bastoncini cilindrici normali ad essa, fra i quali vi sono peduncoli nervosi che portano rigonfiamenti detti *coni*. Questi sono numerosissimi in prossimità dell'asse del bulbo dell'occhio, nella regione più sensibile della rètina, ove si osserva (nell'occhio morto) una macchia gialla detta *macula lutea*, nel cui centro vi è una depressione (*f*) che si dice *fovea centralis*, ove la rètina è più sottile, perchè ivi esistono solo gli elementi più necessari per la visione, i quali invece vanno diradandosi all'intorno, finchè scompaiono.

Però, nel luogo (*o*) in cui il nervo ottico entra nell'occhio, i detti coni e bastoncini mancano; perciò si trova quivi una regione insensibile, detta *punto cieco*, del quale si può provare l'esistenza colla seguente esperienza. Su un foglio di carta si fanno due segni qualunque, per es., due cèrchietti neri A, B (fig. 124) alla distanza di circa 6 *cm.*; si chiude l'occhio sinistro e si fissa il destro sul cerchietto A di sinistra; indi si allontana gradatamente il foglio, e alla distanza di circa 20 *cm.* dall'occhio questo più non vede il cerchietto B, mentre lo vede a distanza maggiore o minore.

Quando la rètina o il nervo ottico, per malattia, ha perduto la sensibilità risulta una cecità incurabile che si dice *gotta serena* o *vista nera*.

La rètina non è incolora ma, come ha dimostrato (1878) il prof. Boll a Roma, ha un bel colore porpora, che però nell'occhio morto svanisce rapidamente sotto l'azione della luce, e non si mantiene allo scuro oltre le 24 ore dopo la morte.

Subito dopo l'uccisione di certi animali vennero osservate sulla loro rètina le immagini degli oggetti da essi veduti ultimamente; ma non si conosce ancora quale parte abbia nella visione tale curioso fenomeno.

5. Il cristallino. — Dei tre mezzi rifrangenti contenuti nell'interno dell'occhio il più importante è il *cristallino* (*l*), che è una lente convergente, la cui faccia posteriore è più convessa dell'anteriore, della grossezza di circa 4 *mm.*, collocata dietro l'iride, e costituita da più strati concentrici di materia trasparente, gelatinosa, elastica, di consistenza e rifrangenza crescente verso l'interno, e avvolta da una membrana sottilissima, *la capsula*, che aderisce ai *processi ciliari* (n° 3).

Non esiste camera posteriore fra l'iride e il cristallino come si credeva una volta.

Quando il cristallino perde la sua trasparenza risulta la malattia detta *cateratta*, cui si rimedia togliendolo o spostandolo, e compensandolo con occhiali convergenti (detti *stenopeici*).

6. L'umor acqueo e vitreo. — Il cristallino divide l'interno dell'occhio in due camere diseguali, delle quali l'anteriore, più piccola, compresa fra esso e la cornea trasparente, è piena di un liquido somigliante all'acqua, e perciò si dice *umor acqueo;* la posteriore, più grande, compresa fra il cristallino e la rètina, contiene una materia trasparente gelatinosa, somigliante all'albume dell'uovo, o al vetro fuso, perciò detta *umor vitreo*, acclusa in una sottile membrana trasparente, detta *ialoide*, la quale aderisce alla faccia posteriore del cristallino ed alla rètina. Nel medesimo nuotano talvolta residui di cellule, fibre e membrane, che appaiono siccome corpuscoli neri (mosche volanti) quando si fissano gli occhi incantati verso una superficie chiara e uniforme.

7. Occhio ridotto. — Lo studio sperimentale e teorico dell'occhio dimostra che esso è uno stromento ottico, paragonabile ad una camera oscura, nella quale la pupilla è il foro per cui entrano i raggi luminosi, il cristallino e gli altri mezzi rifrangenti costituiscono un sistema convergente, il quale produce l'effetto di un mezzo rifrangente unico, il cui indice di rifrazione è 1,34, limitato da una superficie sferica il cui centro giace in un punto (*n*, fig. 123) detto *centro dell' occhio*, distante circa 15 *mm.* dalla rètina, mentre il raggio dell'unica superficie sferica è circa 5,1 *mm.* Risulta in tal modo il così detto *occhio ridotto.*

8. Immagine di un punto luminoso. — Fra gli infiniti raggi che partono da ciascun punto luminoso entra nell'occhio un fascio conico avente per vertice il detto punto e per base la pupilla. Uno di questi raggi passando pel detto centro (*n*, fig. 123) non è deviato, e gli altri vengono fatti convergere verso un punto della rètina, ove si forma il foco coniugato del punto raggiante.

9. Immagine di un oggetto. — I raggi che partono dall'estremità A (fig. 125) d'un oggetto formano, nel modo esposto, il loro foco coniugato in un punto *a* della rètina, quelli che partono dall'altra estremità B formano parimenti il loro foco nel punto *b*, e quelli che partono dai punti intermedii fanno i rispettivi fochi

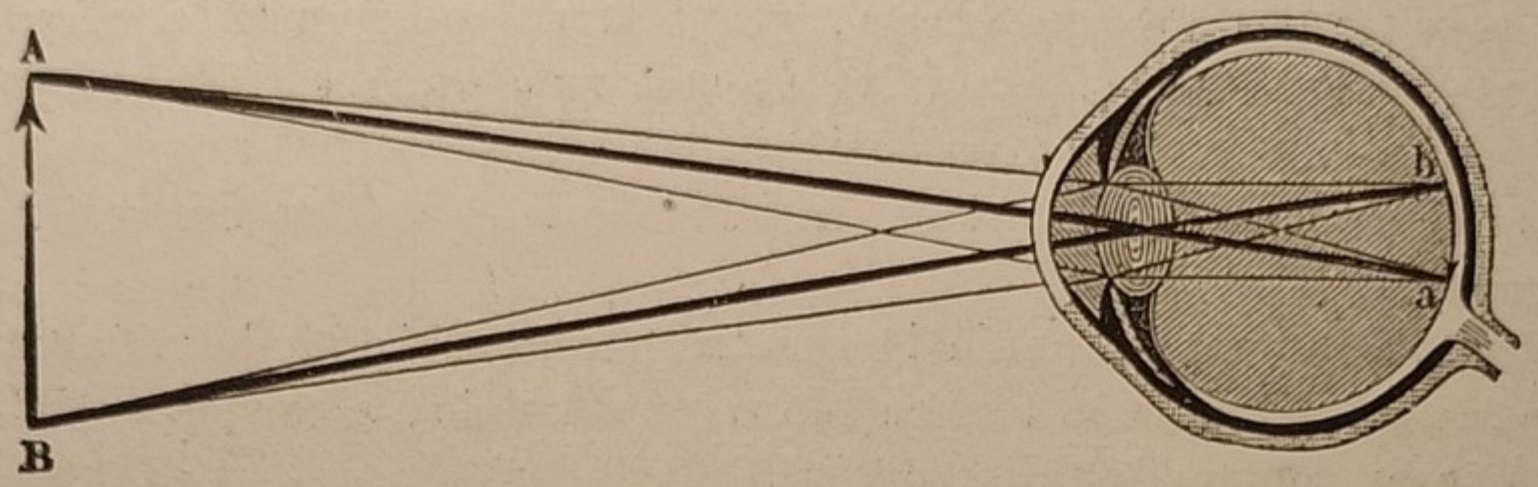


Fig. 125.

nei punti intermedii, cosicchè risulta su quella un' *immagine reale e rovesciata degli oggetti esterni*

10. Prove sperimentali del rovesciamento dell'immagine. — Puossi vedere codesta immagine rovesciata nell'occhio di un bue, facendo superiormente un buco (*a b* fig. 126) nella sclerotica e nelle altre membrane opache sottostanti per poter guardare a traverso tale apertura. Affinchè l'occhio meglio conservi la sua forma lo si adagia entro un recipiente emisferico, come mostra la figura. Ad impedire l'uscita dell'umor vitreo dalla apertura *a b* vi si può applicare una lastrina di vetro. Allora sulla rètina si vede l'immagine reale rovesciata degli oggetti esterni cui l'occhio è rivolto

Fig. 126.

Lo stesso fatto si può accertare spogliando un occhio della parte posteriore della sclerotica e della coroide, e lasciando solo la rètina; ponendo poscia dinanzi al medesimo una fiamma se ne vede distintamente su quella, per trasparenza, l'immagine rovesciata.

Infine, siccome prova sperimentale che le immagini sulla rètina si formano rovesciate vale pure la seguente.

Si fa un foro con uno spillo in un foglio di carta, e si guarda verso una finestra a traverso il foro, distante 4 o 5 centimetri dall'occhio; indi si fa

discendere vicinissimo a questo un diaframma finchè intercetti i raggi che entrano nella pupilla superiormente, e così si vede scomparire dapprima l'orlo inferiore del foro. Viceversa scompare l'orlo superiore quando si fa muovere dal basso in alto il diaframma vicinissimo all'occhio.

Pertanto *le immagini retiniche sono rovesciate* perchè i mezzi rifrangenti dell'occhio agiscono come una lente convergente che dà un'immagine reale (pag. 212) sulla rètina.

11. Perchè si veggono gli oggetti diritti. — Quindi si presenta la questione: come avviene che noi vediamo gli oggetti diritti quantunque le immagini sieno rovesciate? La difficoltà si risolve osservando che noi non vediamo l'immagine che si forma sulla nostra rètina come farebbe un'altra persona che l'osservasse, o come quella di una camera oscura, ma per la propagazione rettilinea della luce, l'occhio percepisce ciascun punto luminoso nella direzione della linea retta che lo congiunge al punto della rètina che esso scuote, e così percepisce in alto il punto luminoso che scuote la rètina in basso, ed inversamente, a quel modo che una persona spiante dietro un foro riferirebbe in alto la provenienza di un piccolo proiettile che colpisse il suo viso in basso, ed inversamente.

Altri attribuisce questo fatto all'abitudine.

12. Capacità di accomodamento dell'occhio alle distanze. — Due sono le condizioni per vedere distintamente un oggetto: 1° la sua immagine deve formarsi precisamente sulla rètina; 2° deve avere sufficiente estensione.

Ora, riguardo alla 1ª condizione si deve notare che la distanza dell'immagine da una lente convergente varia col variare della distanza dell'oggetto, cioè diminuisce col crescere di quella distanza, ed inversamente (pag. 213). E siccome i mezzi rifrangenti dell'occhio producono l'effetto di una lente convergente, parrebbe che si dovessero vedere gli oggetti distintamente solo quando si trovano ad una determinata distanza. Invece l'esperienza ci insegna che noi possiamo vedere distintamente, quantunque non contemporaneamente, oggetti a distanze assai differenti, cioè che l'occhio ha la *capacità di accomodarsi alle distanze*.

L'accomodamento successivo dell'occhio alle distanze è dimostrato dalla seguente osservazione. Fissando un oggetto in modo da vederlo distinto, gli altri, che si trovano più lontani, appaiono confusi; e, inversamente, fissando un oggetto lontano, appare confuso un altro più vicino.

Dalle esperienze di Cramer e di Helmholtz risulta che: *la capacità di accomodamento dell'occhio alle distanze dipende*

da piccoli cangiamenti di curvatura che subiscono le due faccie del cristallino per l'azione dei muscoli che lo comandano. E precisamente, per l'osservazione di oggetti vicini, la cui immagine si formerebbe dietro la rètina, viene aumentata la convessità del cristallino e quindi diminuita la sua distanza focale, e viceversa per l'osservazione di oggetti lontani.

Si può illustrare sperimentalmente questo fatto mediante due lenti di diversa distanza focale.

13. Distanza minima e massima della visione distinta. — L'accomodamento dell'occhio alle distanze ha due limiti, uno *prossimo*, l'altro *remoto*, i quali variano nei diversi individui.

Infatti, se all'occhio si avvicina successivamente un oggetto, per es. uno scritto, si vede che quando la distanza diviene minore di un certo limite non se ne ha più una visione distinta. La distanza a cui ciò avviene si dice *distanza minima della visione distinta*. Per un occhio normale è di 10 a 15 *cm.*

Si chiama poi *distanza massima della visione distinta* la massima distanza a cui si può vedere distintamente un oggetto. Siccome un occhio normale può riunire sulla rètina anche i raggi paralleli, così, per quello, la distanza massima della visione distinta è *infinita*. Infatti, coll'aumentare la distanza sfuggono bensì le minuzie di un oggetto, perchè per vedere distinti ad occhio nudo due punti vicini, la loro distanza non dev'essere inferiore a un certo limite, ma l'immagine dell'oggetto non diviene confusa, come quando questo è troppo vicino all'occhio; il che prova che essa si forma sempre sulla rètina.

Nello stato di riposo l'occhio è sempre accomodato al suo punto remoto; perciò si richiede una certa tensione dei muscoli che agiscono sul cristallino, per osservare oggetti vicini.

14. Distanza abituale della visione distinta. — Fra la distanza minima e la massima dell'accomodamento esiste poi una distanza detta della *visione distinta*, che è quella alla quale si collocano abitualmente gli oggetti alquanto minuti, per es., gli scritti, per vederli più distintamente possibile. Questa distanza varia per diversi occhi; per un occhio normale è di 25 *cm.* circa. Essa non deve confondersi colla *distanza minima* della visione distinta (n° 13).

15. Occhi emmetropici e ametropici. Occhiali. — Rispetto alla capacità di accomodamento gli occhi si distinguono in *nor-*

mali o *emmetropici* (*emmetros*, giusto) e *ametropici* (*a* privativa) od *anormali*.

Si considerano come occhi normali, o giusti, quelli che nello stato di riposo possono riunire sulla rètina i raggi paralleli, cioè i raggi provenienti da punti lontani, e quindi, mediante l'accomodamento (n° 12), possono adattarsi a tutte le distanze comprese fra la minima e l'infinita. In questi la lunghezza, o il diametro antero-posteriore dell'occhio, è di 25 *mm*.

Invece vi sono occhi, i quali, per la soverchia lunghezza del diametro antero-posteriore (da 25 a 33 *mm*.), non possono veder chiaro a grandi distanze, perchè in essi i raggi paralleli si riuniscono prima della rètina. Essi chiamansi miopi (da *myo*, socchiudo, perchè socchiudono od ammiccano gli occhi per osservare), o *brachimetropici* (*brachys*, breve, perchè veggono chiaro solo a brevi distanze).

Il difetto si corregge con lenti divergenti le quali, diminuendo la convergenza troppo grande dei raggi, li fanno riunire sulla rètina troppo lontana dal cristallino.

Infine vi sono occhi col difetto contrario, cioè la cui lunghezza è alquanto minore della normale (da 25 a 22 *mm*.), permodochè in essi i raggi paralleli si riuniscono già al di là della rètina, ed ancora più i raggi divergenti provenienti da punti vicini. Perciò, tali occhi, detti *ipermetropici* (*hypermetros*, oltre misura), non possono vedere chiaro nè in vicinanza, nè in lontananza.

Il difetto si corregge mediante lenti convergenti, che, aumentando la convergenza dei raggi, obbligano questi a riunirsi sulla rètina.

Tale difetto costituzionale dell'occhio si deve distinguere da quello detto *presbitismo* (da *presbys*, vecchio), che consiste anche in un difetto di accomodamento alle piccole distanze, il quale si verifica in generale nei vecchi, perchè coll'avanzare dell'età le forze muscolari si indeboliscono e il cristallino diviene più rigido, permodochè riescono meno possibili i suoi cangiamenti di curvatura, per cui a poco a poco il punto prossimo d'accomodamento si allontana dall'occhio. Questa non è un'anomalia, ma un indebolimento normale.

Il difetto si corregge pure mediante lenti convergenti come quello costituzionale.

Ed è da condannarsi l'indifferenza nel sopportare i difetti dell'occhio, e peggio il pregiudizio di credere dannosi gli occhiali, mentre il savio uso di questi è l'unico mezzo per preservare l'occhio da malattie incurabili e dalla cecità.

16. Angolo visuale. — L'angolo che le *rette visuali,* cioè le linee passanti pel punto raggiante e pel centro dell'occhio (n° 7), condotte ai punti estremi A, B (fig. 127) di un oggetto, formano nel detto centro in cui esse si incrociano, si dice *angolo visuale.* Esso determina la *grandezza apparente* dell'oggetto, la quale, a parità di distanza, cresce colla grandezza reale di quello, e per uno stesso oggetto, diminuisce col crescere della sua distanza; perciò gli oggetti sembrano tanto più piccoli quanto più sono distanti, perchè diminuisce la grandezza reale della loro immagine nell'occhio. La distanza tra gli alberi di un viale, o tra le case di una lunga via, appare diminuire colla distanza appunto perchè diminuisce l'angolo visuale.

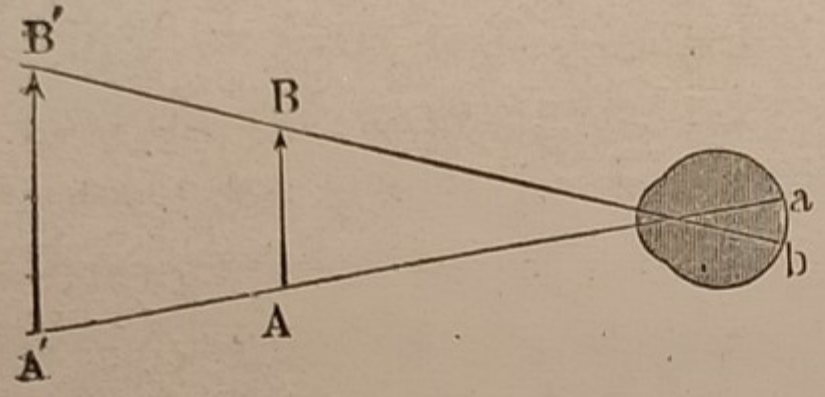


Fig. 127.

Così pure una strada orizzontale appare sollevarsi in lontananza, ed ogni sollevamento del suolo appare più erto di quello che è, perchè non solo le dimensioni orizzontali, ma anche quelle verticali appaiono diminuire colle distanze.

Due oggetti di diversa grandezza AB A′B′ (fig. 127) sono veduti sotto lo stesso angolo visuale, e perciò hanno la stessa grandezza apparente, quando la loro grandezza reale è proporzionale alla loro distanza. Cioè, oggetti diversi le cui grandezze stanno come 1 : 2 : 3, ecc., vengono veduti sotto lo stesso angolo visuale se le loro distanze stanno fra loro nello stesso rapporto.

17. Visione semplice coi due occhi. — Noi ordinariamente vediamo gli oggetti semplici e non doppi, malgrado che ne abbiamo due immagini, una per occhio. Però si possono facilmente vedere gli oggetti doppi. Così se si tengono due dita verticalmente, l'un dopo l'altro, avanti gli occhi, cosicchè il primo ne disti circa $^1/_3$ di metro e l'altro alquanto più, fissando il dito più vicino esso viene veduto unico, mentre si vede contemporaneamente doppio il più lontano; inversamente se si fissa il più lontano si vede doppio il più vicino.

Si possono pure vedere gli oggetti doppi spostando alquanto uno degli occhi con un dito, spingendolo per es. alquanto dal basso in alto.

Quindi è evidente che per l'unità della sensazione si richiede che le due immagini dell'oggetto cadano nello stesso tempo su determinate parti della rètina, le quali sono in tale rapporto tra loro che le impressioni di ciascuna si confondono in una percezione unica, e che i movimenti del-

l'occhio sono coordinati per modo da far cadere le due immagini dell'oggetto in quelle parti corrispondenti delle due rètine.

Secondo i fisiologi, la ragione per la quale noi vediamo gli oggetti semplici malgrado le due immagini, si deve ricercare nelle diramazioni dei nervi ottici, anzichè nell'abitudine, perchè *i due occhi sono due rami con una stessa radice*, e da ciascun elemento della radice semplice parte un ramo per occhio, il che si prova con molteplici esperienze.

Quando si vede un oggetto semplice coi due occhi, quando cioè le sue immagini cadono su punti corrispondenti delle due rètine, lo si vede più chiaro che con un occhio solo, il che si può facilmente verificare.

Nell'osservazione di oggetti vicini la visione coi due occhi somministra un mezzo essenziale per giudicare esattamente le distanze. Il che si può facilmente verificare provando ad accendere un lume, osservandolo con un occhio solo o con due. Nel primo caso non portiamo il fiammifero acceso esattamente sullo stoppino, come nel secondo. Così pure riesce difficile infilare un ago con un occhio solo.

Ciò avviene perchè l'angolo visuale per oggetti vicini varia assai sensibilmente colla distanza, cosicchè dalle variazioni di esso noi possiamo giudicare delle distanze.

18. Percezioni del rilievo dei corpi. — Le due immagini di un corpo solido nei due occhi sono fra loro alquanto diverse. Quella dell'occhio destro si estende alquanto di più verso la destra del corpo che non l'immagine sinistra, la quale invece si estende di più dalla parte sinistra di quello. Per es., se si osserva un cubo coll'occhio destro, si vede più estesa la faccia che è a destra, ed inversamente coll'occhio sinistro. Se poi si tiene un libro sottile, verticalmente e di taglio fra i due occhi, coll'uno vediamo il frontispizio e coll'altro la pagina finale.

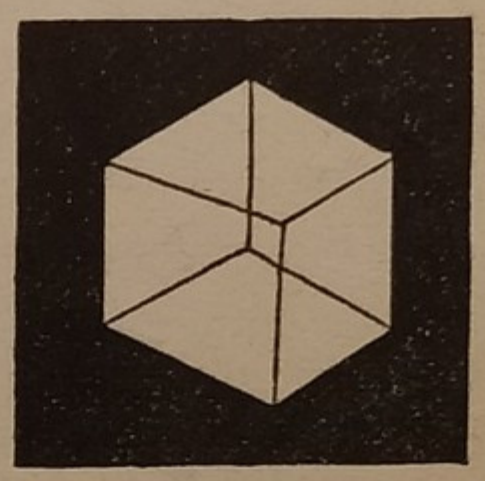


Fig. 128.

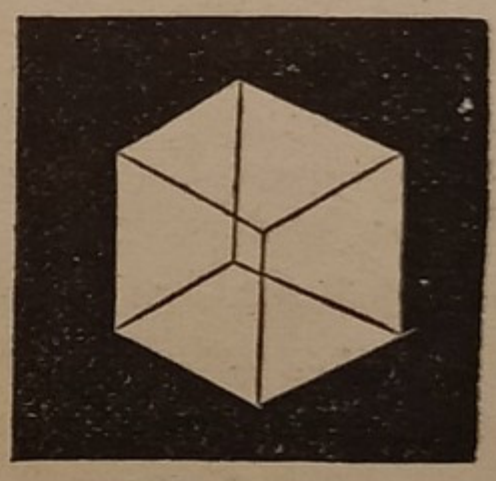


Fig. 129.

Ora, dalla percezione contemporanea delle due immagini nasce quella del rilievo. Ciò si può verificare semplicemente tenendo la concavità di un pennino bene illuminato avanti ai due occhi; osservandolo con un occhio solo ci appare piatto, mentre coi due occhi lo vediamo concavo. Invece nella osservazione di una superficie piana o di un disegno non si ha differenza di immagini nei due occhi.

Quindi risulta che la percezione del rilievo dei corpi nasce dalla percezione contemporanea delle due immagini alquanto diverse che un corpo solido somministra ai due occhi. Infatti, si può produrre artificialmente la percezione del rilievo mediante due disegni che presentino ai due occhi la rispettiva immagine alquanto diversa. Per es., se si pone un cartoncino tra le figure 128 e 129, in modo che la prima sia veduta solo coll'occhio sinistro,

e la seconda solo col destro, facendo convergere le rette visuali dei due occhi come se si volesse guardare a traverso il foglio, con un poco di abitudine, si riesce a vedere un cubo trasparente.

19. Stereoscopio. — Si ottiene nel modo migliore questo risultato, di presentare all'occhio la percezione del rilievo mediante disegni, collo *stereoscopio* *stereos*, solido) di Brewster (1843), che consiste in una cassetta annerita internamente (figura 130), aperta da una parte per lasciarvi entrare la luce che deve illuminare i disegni stereoscopici che si pongono all'estremità più ampia della medesima, mentre all'altra estremità più angusta si osservano quelli attraverso a due prismi L, R (fig. 131), a superficie convessa, che fanno l'ufficio di lenti convergenti di circa 15 *cm.* di distanza focale, la cui parte più grossa è rivolta verso i due fianchi e la parte più sottile verso l'asse dell'apparecchio. Codeste mezze lenti danno due immagini virtuali alquanto ingrandite, sovrapposte nella parte comune e distinte nelle parti che differiscono pei due occhi, cosicchè si ha l'impressione del rilievo come se si osservasse l'oggetto che esse rappresentano. Per limitare la visione di ciascun occhio alla rispettiva immagine la cassa è divisa longitudinalmente per metà da una parete.

Fig. 130.

Infine, per illuminare le immagini non trasparenti, la parete mobile laterale superiore è tappezzata da una superficie splendente che in opportuna posizione riflette la luce verso il disegno.

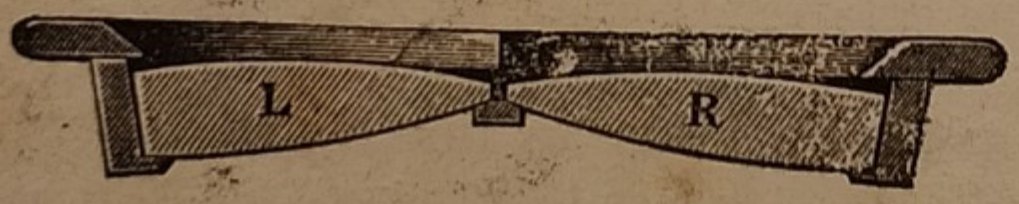


Fig. 131.

Lo stereoscopio può servire a riconoscere i biglietti di banca giusti da quelli falsi, come pure se due copie di uno stampato appartengono ad una medesima tiratura o no, perchè due copie provenienti dalla stessa incisione o dagli stessi tipi sono perfettamente identiche, ed osservate assieme collo stereoscopio appaiono sopra un piano; mentre, se sono imitazioni o ristampe, è impossibile che i tratti o le lettere siano perfettamente equidistanti sui due fogli, ed allora appariscono in piani diversi.

§ 42. Apparecchi di proiezione.

1. Camera oscura fotografica. — La fig. 132 rappresenta la camera oscura adoperata nella fotografia. Sulla parete anteriore della cassetta *a* è fissato un tubo di ottone *h*, nel quale è scorrevole un secondo tubo *i* mediante un rocchetto e un bottone *r*. Il tubo mobile *i* contiene l'obbiettivo, costituito da un sistema di lenti convergenti acromatiche, che dànno un' immagine reale e rovesciata degli oggetti esterni su di una lastra di vetro smerigliato controstante *g*. Questa è fissata in un telaio scorrevole e

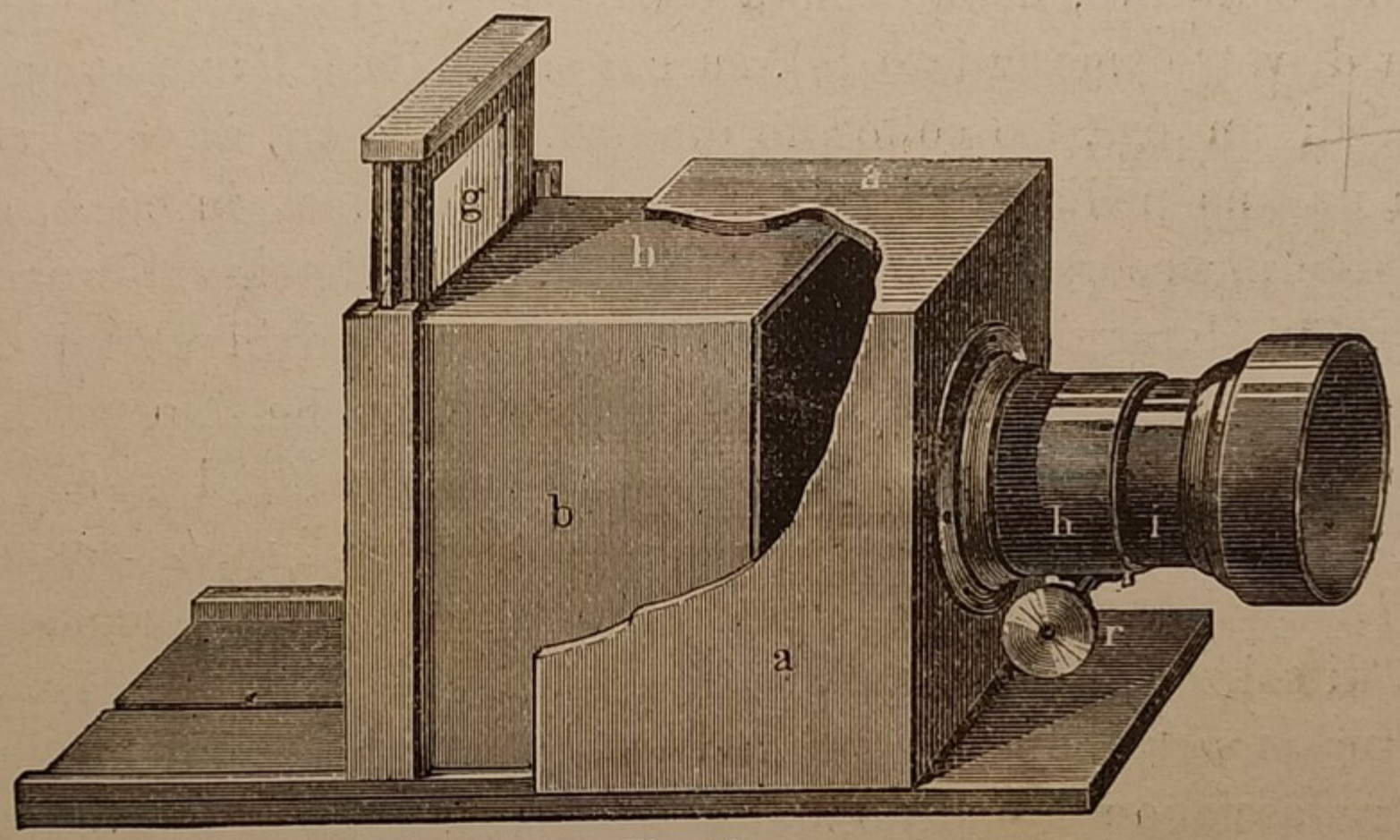


Fig. 132.

costituisce la parete mobile posteriore di una cassetta *b* scorrevole nell'esterna *a*.

Movendo opportunamente l'obbiettivo mediante il bottone *r*, si porta l'immagine ad avere la massima chiarezza sul diaframma *g*, al cui posto si colloca poi la lastra sensibile all'azione della luce.

Si usa un sistema di lenti convergenti anzichè una sola perchè, per ottenere la necessaria quantità di luce nell'immagine, il diametro dell'obbiettivo dovrebbe essere considerevole, e siccome la sua distanza focale deve essere piccola, così per l'aberrazione sferica l'immagine verrebbe confusa. L'aberrazione sferica delle lenti consiste in ciò che i raggi attraversanti una lente convergente

lontano dall'asse sono più deviati che quelli vicini all'asse, perchè i primi attraversano la lente siccome un prisma di maggior angolo rifrangente (pag. 202). Invece, mediante un conveniente sistema di lenti convergenti, si evita l'aberrazione sferica. L'aberrazione cromatica (pag. 228) è evitata dall'acromatismo delle lenti.

2. La **fotografia** è l'arte di fissare le immagini della camera oscura sopra sostanze sensibili all'azione della luce, come il bromuro, ioduro e cloruro d'argento, i quali sali, dapprima di colore bianco, vengono dalla medesima modificati in modo che acquistano colorazione bruna.

Il moderno procedimento detto alla *gelatina bromuro* consiste nel collocare, nella camera oscura (fig. 132), al posto della lastra di vetro smerigliato (*g*), su cui si produce l'immagine distinta di un oggetto collocato dinanzi, una lastra di vetro ricoperta da una pellicola di gelatina, o di albumina, in cui è intimamente incorporato uno dei detti sali, generalmente il bromuro di argento. I raggi luminosi che partono dai luoghi chiari dell'oggetto, arrivando sulla pellicola sensibile, anche solo per brevissimo tempo (fotografia istantanea), modificano il sale. Però l'immagine non è ancora visibile, ma la si sviluppa mediante reattivi detti *sviluppatori* (una volta si usava una soluzione diluita di solfato ferroso, oppure di acido pirogallico; oggidì si usa l'*idrochinone*) i quali continuano la breve azione della luce, mentre lasciano più o meno inalterata la materia sensibile in corrispondenza dei luoghi oscuri dell'oggetto, in cui l'azione della luce fu più o meno debole. Questa viene poi esportata dalla lastra di vetro mediante l'azione del *fissatore* (soluzione al 10 per 100 di iposofilto di sodio nell'acqua). Così si ottiene sul vetro un'immagine dell'oggetto detta *negativa*, perchè in essa i luoghi chiari dell'oggetto sono oscuri, per la presenza del sale d'argento imbrunito, e inversamente quelli oscuri sono trasparenti e chiari, perchè in essi venne esportato il detto sale.

Da tale immagine negativa si ottengono poi sulla carta quante immagini *positive* si vogliono, in cui cioè i chiari e oscuri corrispondono a quelli dell'oggetto. Perciò si applica immediatamente sulla faccia della lastra di vetro, sulla quale si è ottenuta l'immagine negativa, un foglio di carta sensibilizzata, cioè ricoperta

da uno strato di albumina in cui è incorporato del cloruro d'argento, e la si espone alla luce diffusa del giorno, la quale passando pei luoghi trasparenti della lastra, corrispondenti ai luoghi oscuri dell'oggetto, va ad imbrunire il cloruro d'argento sulla carta, mentre nei luoghi oscuri della lastra, corrispondenti ai chiari dell'oggetto, la luce viene trattenuta e il cloruro d'argento rimane indecomposto. Questo viene poscia esportato dalla carta mediante immersione di essa in una soluzione di iposolfito sodico, in guisa che, in corrispondenza dei luoghi chiari dell'oggetto, la carta rimane chiara, ed inversamente; e così risulta l'immagine positiva.

Tanto le lastre sensibili di vetro quanto la carta sensibile si vendono dai negozianti di oggetti fotografici già preparate.

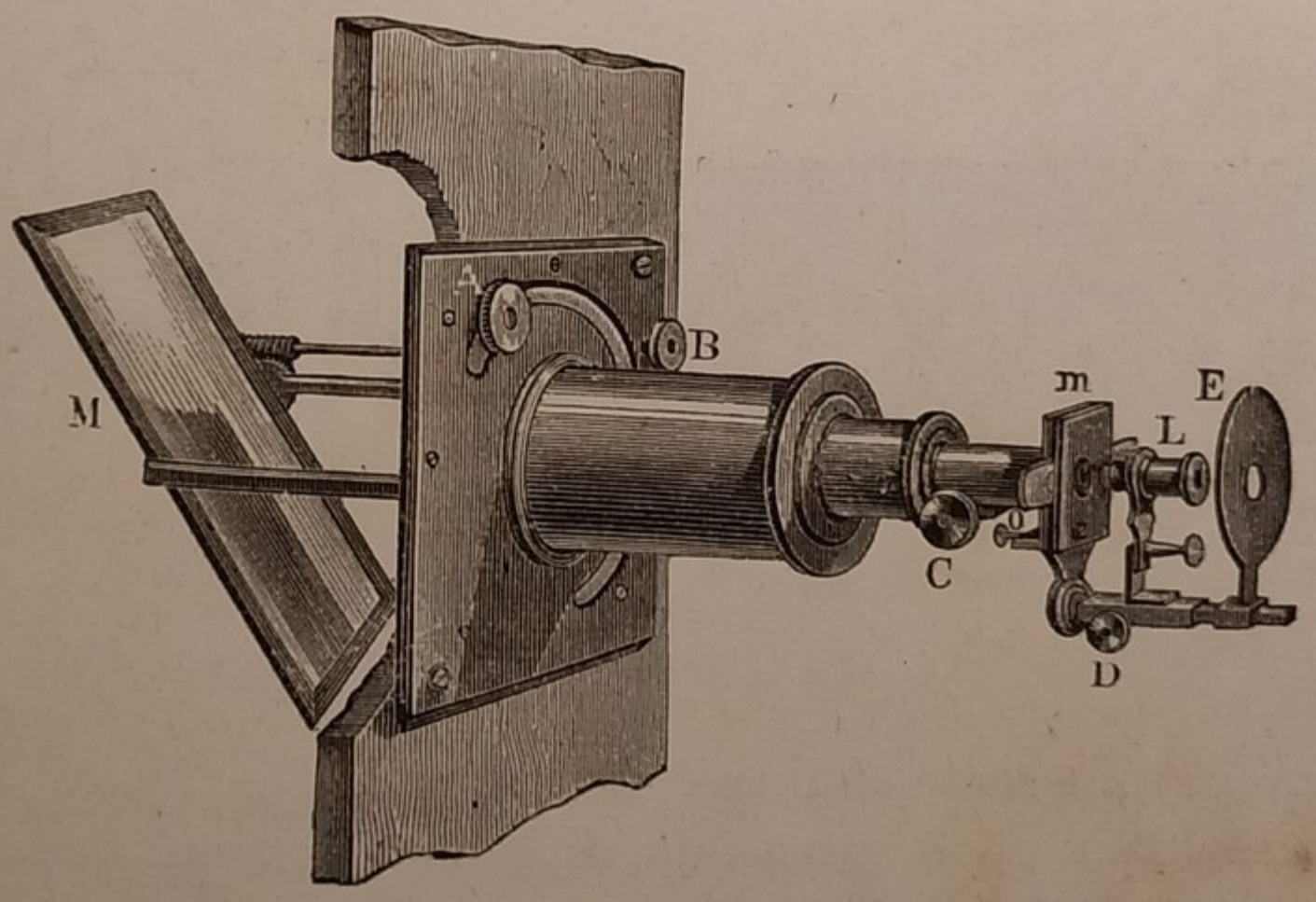


Fig. 133.

3. Microscopio solare. — La fig. 133 mostra il microscopio solare in prospettiva applicato all'imposta di una finestra di una camera oscura, collo specchio esterno M, che si può muovere dall'interno mediante i bottoni A e B, per modo da mandare un fascio di luce solare nella direzione dell'asse dell'apparecchio.

La fig. 134 ne presenta una sezione; *a* e *b* sono due lenti che servono a concentrare la luce sull'oggetto che si colloca in *n n* fra due lastrine di vetro, che vengono trattenute fra due lastre metalliche *r r*, *p p*, mediante molle spirali che le stringono (le lenti segnate in nero, servono per altre esperienze che si fanno col microscopio solare); in *o* si trova l'obbiettivo, costituito da un sistema di piccole lenti piano-convesse, convergenti, acro-

matiche, le quali si possono avvicinare all'oggetto mediante il bottone *k*, in modo da ottenere l'immagine più netta possibile sullo schermaglio bianco, che si colloca alla distanza di 3 a 6 metri.

Dietro quanto si è esposto relativamente alle immagini reali delle lenti convergenti (pag. 212), l'oggetto deve essere collocato dalla parte della lente opposta a quella del diaframma, tra la semplice e la doppia distanza focale, ma assai vicino al foco di quella.

4. Lanterna magica. — La lanterna magica (Kircher, 1680) è simile al microscopio solare, colla differenza che la luce viene somministrata da una lampada, e gli oggetti consistono in figure trasparenti dipinte su lastre di vetro, le quali si collocano prima del foco principale di una lente convergente che ne proietta una immagine reale, rovesciata, ingrandita, su un diaframma. Per avere le immagini diritte basta collocare le lastre colle figure rovesciate.

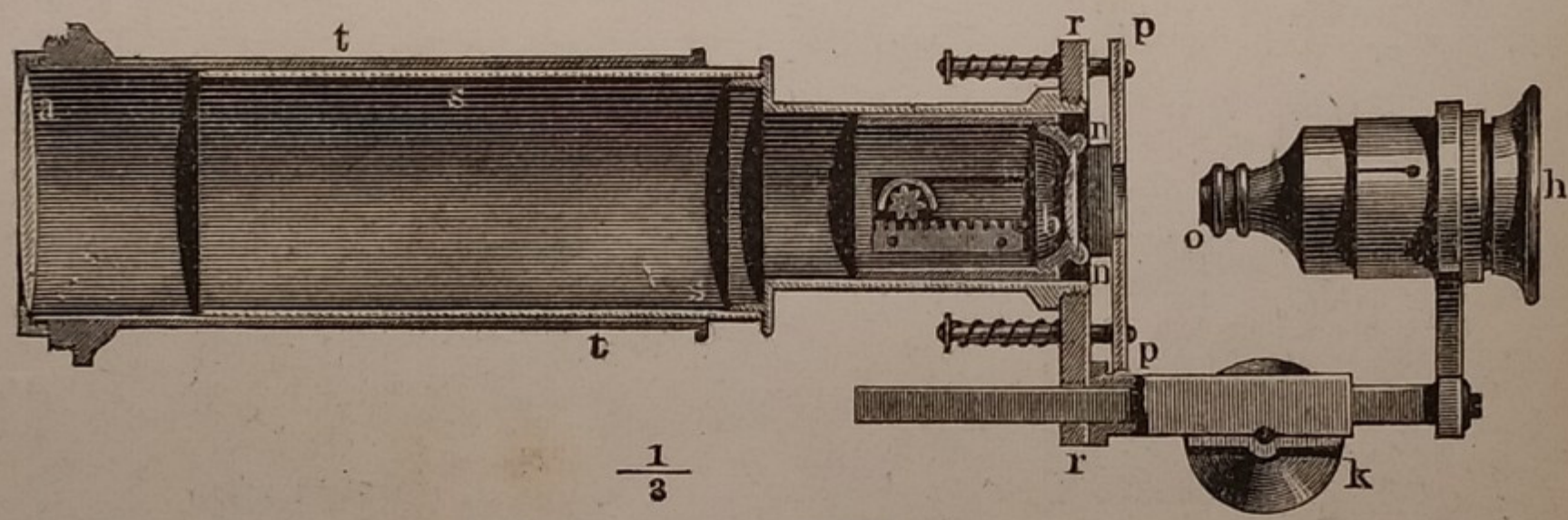


Fig. 134.

Anche in tale stromento, per diminuire le aberrazioni, invece di una lente sola se ne usano due di minor distanza focale, la prima delle quali è vicina all'oggetto per modo che essa non rende ancora convergenti i raggi, ma li fa solo cadere meno divergenti sulla seconda che, ricevendo così maggiore numero di raggi e meno divergenti, dà un'immagine più chiara e precisa.

§ 43. Microscopi.

1. Microscopio semplice. — Il microscopio semplice non è altro che una lente convergente, colla quale si osserva l'immagine virtuale, diritta, ingrandita, di un oggetto collocato fra la medesima e il suo foco principale (pag. 214).

La fig. 135 rappresenta la disposizione che si dà al microscopio semplice per renderlo più comodo e adatto alle osservazioni. La lente, che può essere semplice o composta, è avvitata in O, mentre al disopra in A si applica l'occhio. Sul disco forato B, detto *porta-oggetti*, si posa la lastrina C sulla quale sta l'oggetto da osservare, e che colla vite D si mette a conveniente distanza dalla lente. Infine lo specchietto M serve ad illuminare l'oggetto dal basso.

2. L'ingrandimento, cioè *il rapporto fra la grandezza dell'immagine e quella dell'oggetto*, sarà tanto maggiore quanto più questo è vicino al foco principale; ma siccome per tale avvicinamento l'immagine si forma più lontana dall'occhio, questo non la vedrebbe più distinta. La posizione più conveniente dell'oggetto è pertanto quella in cui la sua immagine si forma alla distanza della visione distinta, di circa 25 *cm.* per un occhio normale, e si dimostra che, con una data lente, l'ingrandimento è maggiore pel presbite che pel miope, perchè la distanza della visione distinta è maggiore pel primo che pel secondo; e per uno stesso occhio è tanto maggiore quanto minore è la distanza focale della lente, e quanto più l'occhio è vicino a questa.

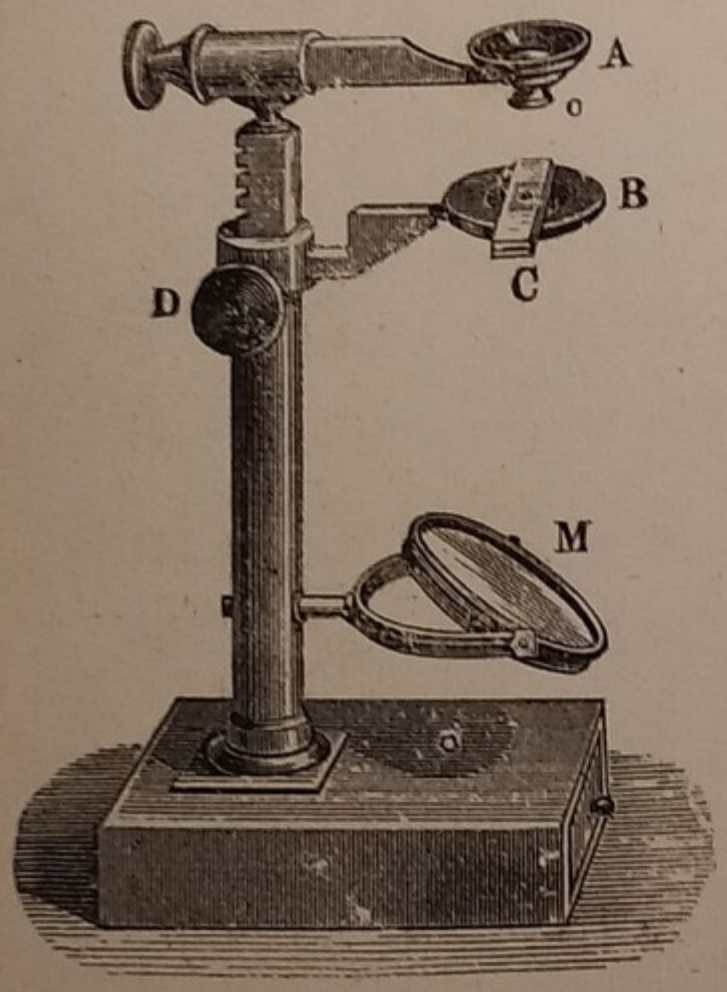


Fig. 135.

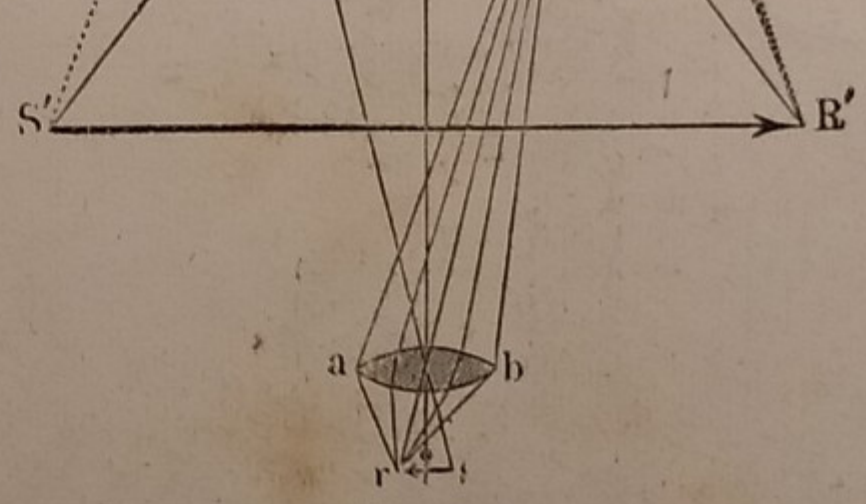


Fig. 136.

3. Microscopio composto. — Nella sua forma più semplice, consta di due lenti convergenti (fig. 136) collocate a distanza invariabile in un tubo metallico (fig. 137).

L'obbiettivo convergente *ab* (fig. 136) dà in S R un'immagine reale, rovesciata e ingrandita, d'un oggetto *r s* collocato poco al di là del suo foco principale. Tale immagine reale, si osserva coll'oculare *c d*, che agisce siccome microscopio semplice sulla medesima, perchè essa cade tra l'oculare stesso e il suo foco principale, cosicchè l'occhio collocato al di sopra vede un'immagine S′ R′, virtuale, ingrandita, diritta rispetto alla prima e quindi rovesciata rispetto all'oggetto.

La figura mostra come i raggi divergenti che partono dal punto estremo *r*

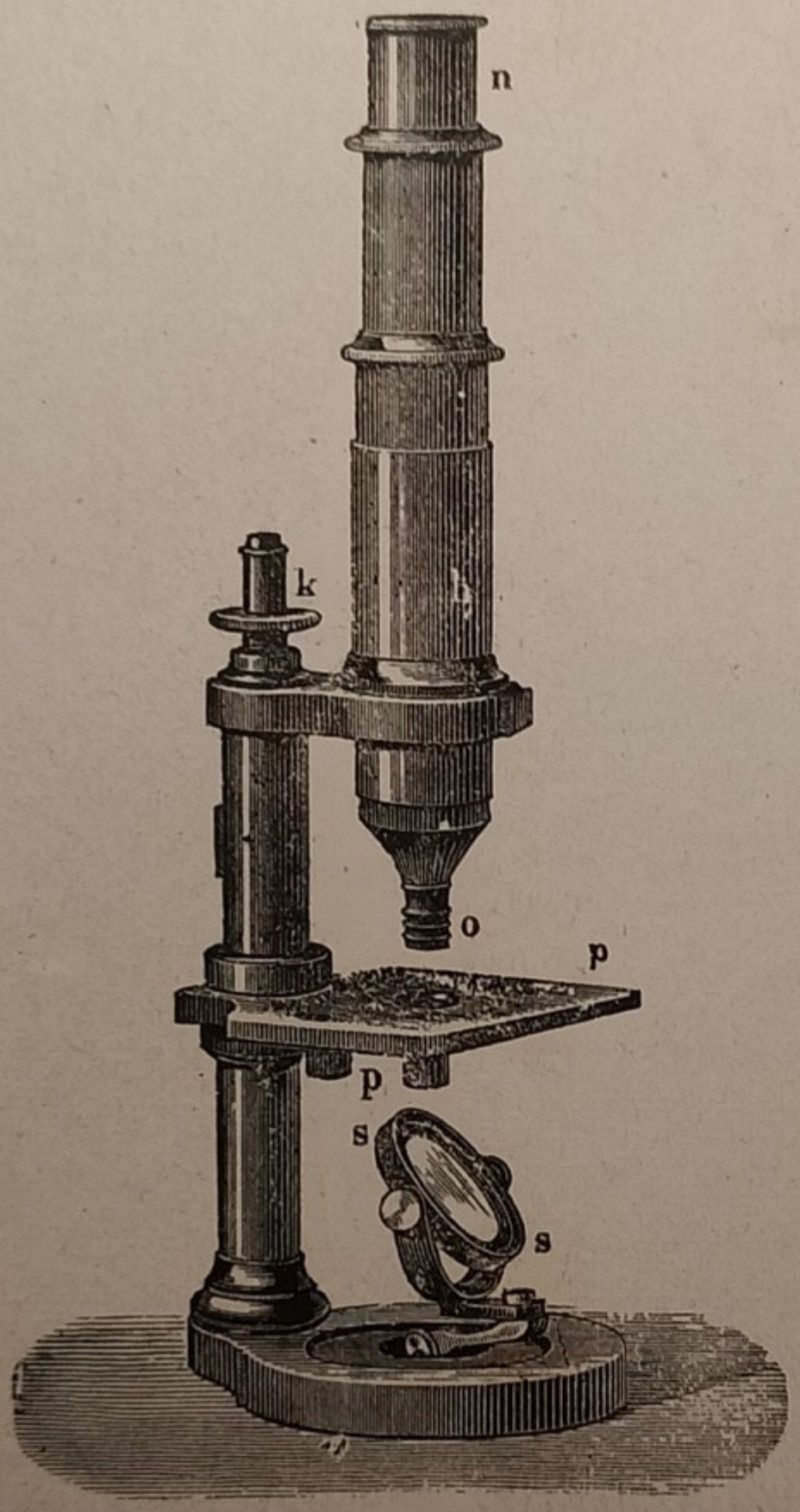


Fig. 137.

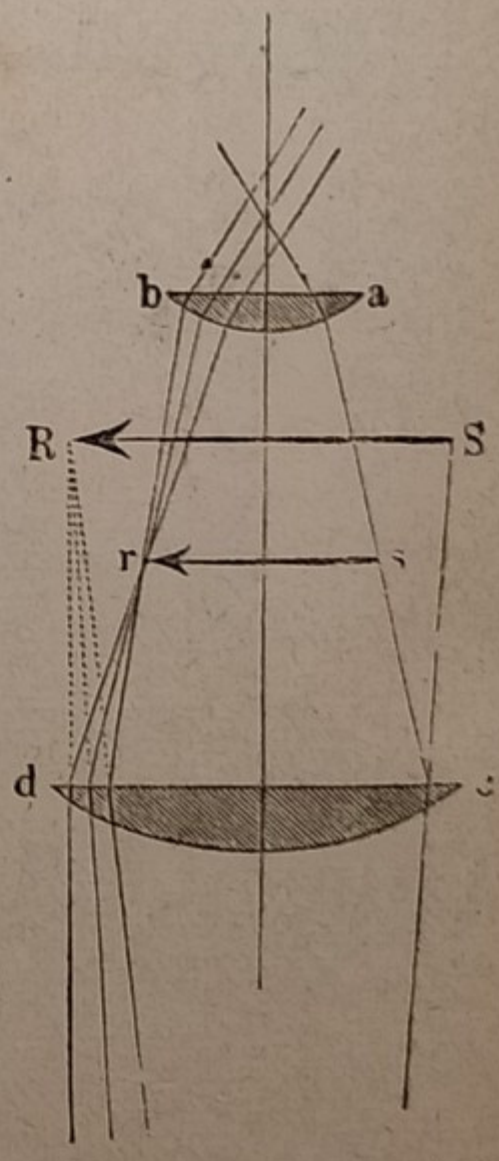


Fig. 138.

dell'oggetto, attraversando l'obbiettivo *a b* concorrono in R, ma attraversando poscia l'oculare *c d*, divergono come se provenissero da R′. Analogamente avviene per gli altri punti luminosi.

4. Forma dell'obbiettivo. — *Per diminuire le aberrazioni* l'obbiettivo è costituito da tre lenti acromatiche *o* (fig. 137) piano-convesse, avvitate all'estremità inferiore di un tubo verticale *h*, e l'oculare consiste in due lenti piano-convesse (fig. 138), colla faccia convessa rivolta all'oggetto, fissate

in un corto tubo *n* (fig. 137) di lunghezza invariabile, che si introduce nell'estremità superiore del tubo verticale *h*.

Le *lenti acromatiche dell'obbiettivo* sono costituite da una lente biconvessa di crown e una piano-concava di flint, incollate fra loro mediante balsamo di Canadà. Esse si avvitano successivamente l'una all'altra. I microscopi di Plössel e di Schieck sono ordinariamente provveduti di 5 lenti obbiettive acromatiche, le quali si distinguono coi numeri 1, 2, 3, 4, 5. Pel minore ingrandimento si usa solo la lente n° 1; per maggiori ingrandimenti si usano le combinazioni $1+2$, $1+2+3$, $2+3+4$, e $3+4+5$.

5. Illuminazione dell'oggetto. — L'oggetto si pone su una lastrina di vetro che si posa su una lastra metallica o porta-oggetti *p p* (fig. 137), avente nel centro un foro, a traverso il quale si illumina inferiormente l'oggetto trasparente mediante uno specchietto concavo *s s*.

Gli oggetti non trasparenti si possono illuminare dall'alto mediante una lente convergente collocata di fianco, la quale non è indicata nel disegno.

6. Visione distinta. — Per collocare l'obbiettivo *o* in tale distanza dall'oggetto che l'immagine risulti chiara per diversi occhi, o si muove alquanto il microscopio stesso mediante la vite *k*, ovvero, come in altri modelli, si muove a vite il porta-oggetti *p p*.

7. L'ingrandimento lineare del microscopio composto *è dato dal prodotto dell'ingrandimento dell'obbiettivo per quello dell'oculare.*

Infatti, l'ingrandimento dell'obbiettivo è $\frac{S\,R}{s\,r}$ (fig. 136), e quello dell'oculare è $\frac{S'\,R'}{SR}$: ora facendo il prodotto di questi due ingrandimenti si ha:

$$\frac{S\,R}{sr} \times \frac{S'\,R'}{SR} = \frac{S'\,R'}{sr},$$

cioè il rapporto fra la grandezza dell'immagine S′R′ e quella dell'oggetto *sr*, il che costituisce l'ingrandimento totale.

I migliori microscopi sono muniti di due o tre oculari per ottenere diversi ingrandimenti.

§ 44. Cannocchiali.

1. Il cannocchiale astronomico, o di Keplero (1611), consta di una grande lente convergente (*o o* fig. 139), di grande distanza focale, la quale costituisce l'*obbiettivo*, e di una piccola lente convergente (*v v*) di piccola distanza focale, che è l'*oculare*.

L'obbiettivo dà un'immagine (*a b*) reale, rovesciata e piccolissima dell'oggetto (A B) lontanissimo, sulla quale l'oculare agisce siccome microscopio semplice, cioè, questa immagine (*a b*) si forma, come nel microscopio composto, tra l'oculare e il suo foco prin-

cipale, permodochè l'occhio vede poi un'immagine ($a'b'$) virtuale, ingrandita e diritta rispetto a quella dell'obbiettivo, e perciò rovesciata rispetto all'oggetto, il che per le osservazioni astronomiche non presenta inconveniente.

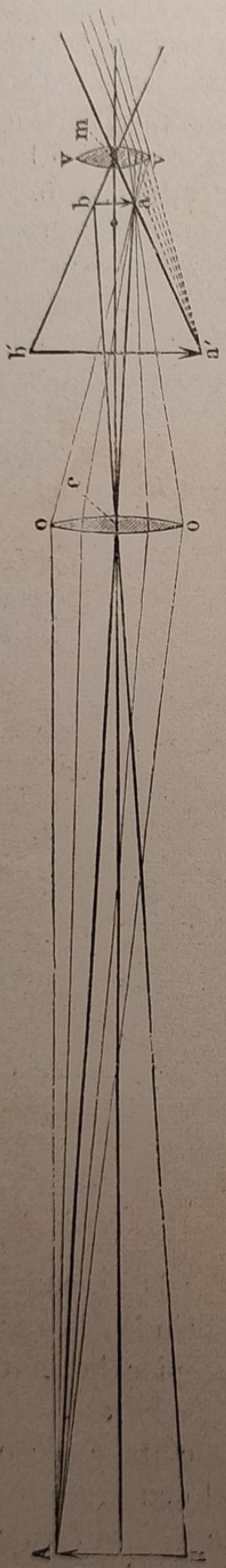


Fig. 139.

Le lenti sono poste all'estremità di una serie di tubi metallici che entrano gli uni negli altri. L'obbiettivo, di grandi dimensioni, è collocato all'estremità del tubo maggiore; l'oculare, assai minore, è fisso all'estremità del tubo minore, il quale si può muovere mediante un rocchetto, sia perchè l'immagine possa essere portata alla distanza della visione distinta dell'osservatore, sia perchè quanto più l'oggetto è vicino, tanto più l'immagine reale data dall'obbiettivo è lontana da questo, e tanto più deve essere ritirato indietro l'oculare.

Come si vede la differenza fra il cannocchiale astronomico ed il microscopio composto consiste in ciò che in questo l'oggetto è vicinissimo all'obbiettivo, e quindi l'immagine reale di quello risulta già ingrandita, mentre nel cannocchiale astronomico l'oggetto è lontanissimo dall'obbiettivo, e quindi l'immagine reale di quello è piccolissima.

Ambe le immagini vengono poi ingrandite nella stessa maniera dall'oculare.

Di più, nel microscopio l'oculare e l'obbiettivo sono ad una distanza costante, e per osservare l'oggetto, si sposta il porta oggetti in modo che l'immagine risulti la più chiara possibile; invece, per osservare col cannocchiale, non potendosi far variare la distanza dell'oggetto, si fa variare la distanza dell'oculare dall'obbiettivo, in modo che l'immagine risulti più chiara possibile, dipendentemente dalla distanza dell'oggetto e da quella della visione distinta dell'osservatore.

2. Ingrandimento del cannocchiale astronomico. — Per *ingrandimento di un cannocchiale astronomico* si intende: *il rapporto che passa fra l'angolo sotto il quale l'osservatore scorge l'immagine col cannocchiale e l'angolo sotto il quale vedrebbe l'oggetto ad occhio nudo*, e si dimostra che *esso è assai approssimativamente eguale al rapporto fra la distanza focale dell'obbiettivo e quella dell'oculare*, cioè: *l'ingrandimento di un cannocchiale è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza focale dell'obbiettivo e minore quella dell'oculare.*

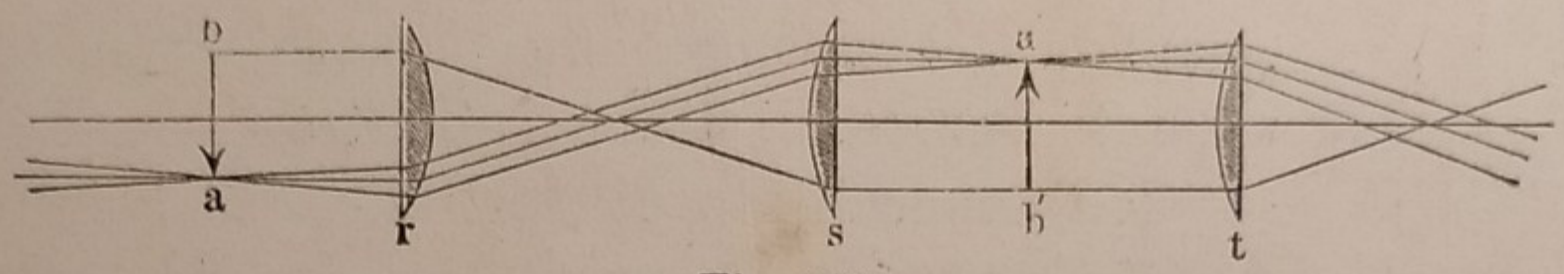


Fig. 140.

3. Cannocchiale terrestre. — Il rovesciamento delle immagini che presenta il cannocchiale astronomico sarebbe un inconveniente nelle osservazioni terrestri. Perciò nei cannocchiali terrestri, tra l'obbiettivo e l'oculare, si interpongono altre lenti convergenti che raddrizzano l'immagine rovesciata data dall'obbiettivo.

Ciò venne dapprima ottenuto da Rheita, mediante le due lenti piano-convesse *r s* (fig. 140), le quali, come indica il disegno, rovesciano nuovamente l'immagine rovesciata *a b* data dall'ob-

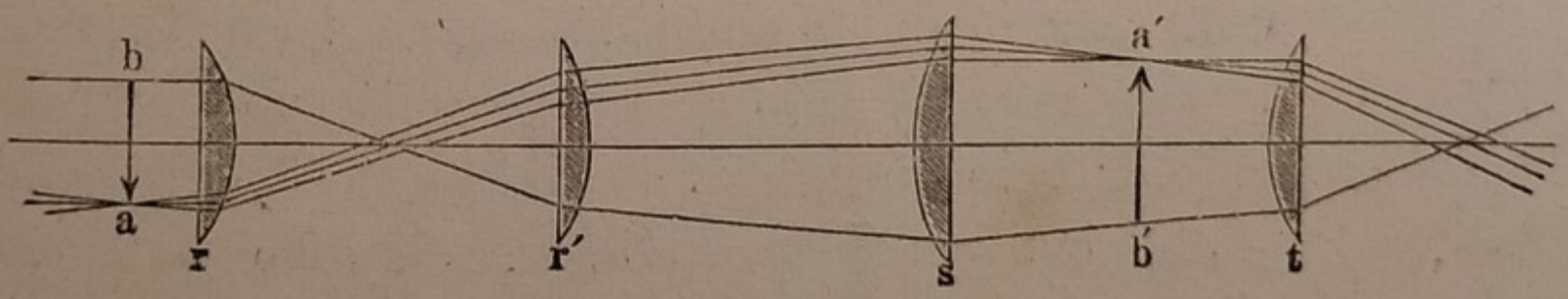


Fig. 141.

biettivo, e la presentano quindi diritta in $a' b'$ all'oculare t, che agisce sulla medesima siccome microscopio semplice, cioè ne dà all'occhio un'immagine virtuale, diritta, ingrandita.

Oggidì, per ottenere tale raddrizzamento, si usano tre lenti piano-convesse invece di due, siccome indica la fig. 141.

L'immagine rovesciata *a b* data dall'obbiettivo si trova internamente alla distanza focale della prima lente *r*, cosicchè i raggi provenienti da un punto *a* dell'immagine *a b* passando per *r* divergono alquanto, intersecano l'asse e cadono poscia dapprima sulla lente *r'* che li rende debolmente convergenti, finchè la 3ª

lente s determina l'immagine diritta $a'b'$, che viene ingrandita dall'oculare t.

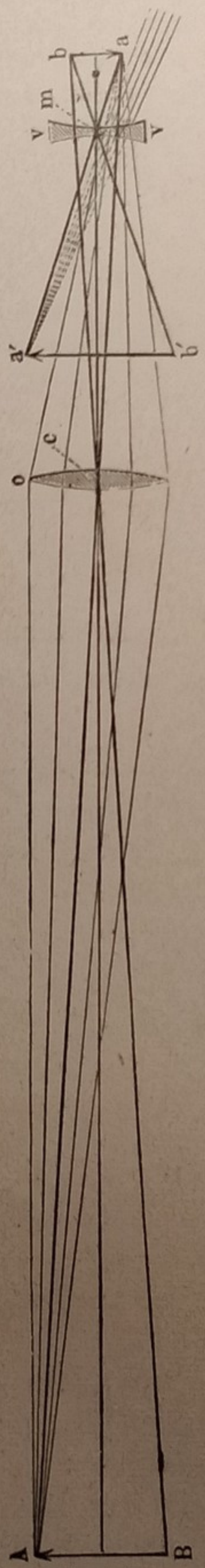


Fig. 143.

Tanto nel luogo in cui i raggi intersecano l'asse fra r e r', quanto nel luogo dell'immagine $a'b'$, è collocato un diaframma anulare per non lasciar passare che i raggi centrali.

Infine la fig. 142 rappresenta una sezione completa del cannocchiale terrestre composto di tre tubi scorrevoli l'uno nell'altro.

4. Cannocchiale di Galilei. — L'obbiettivo è una lente biconvessa acromatica $o\,o$ (fig. 143), di diametro e distanza focale alquanto grande, la quale darebbe in $a\,b$ un'immagine reale rovesciata di un oggetto lontano A B se i raggi non dovessero attraversare l'oculare, costituito da una lente biconcava $v\,v$,

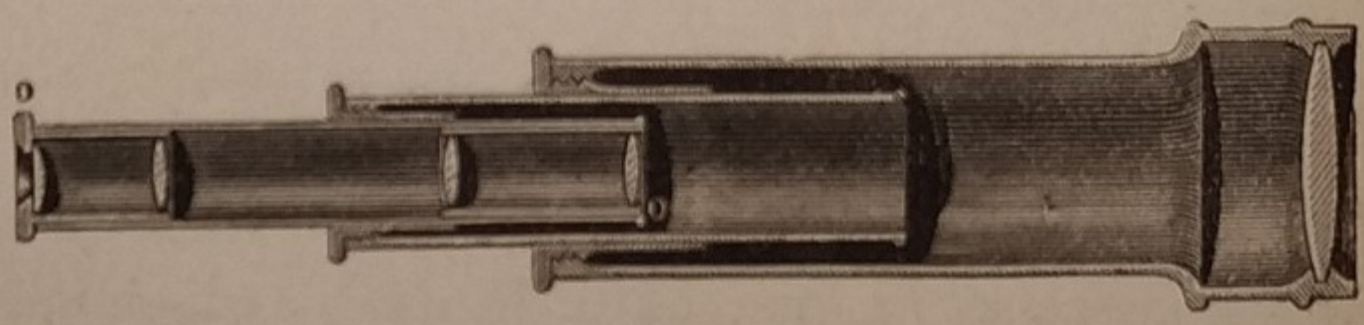


Fig. 142.

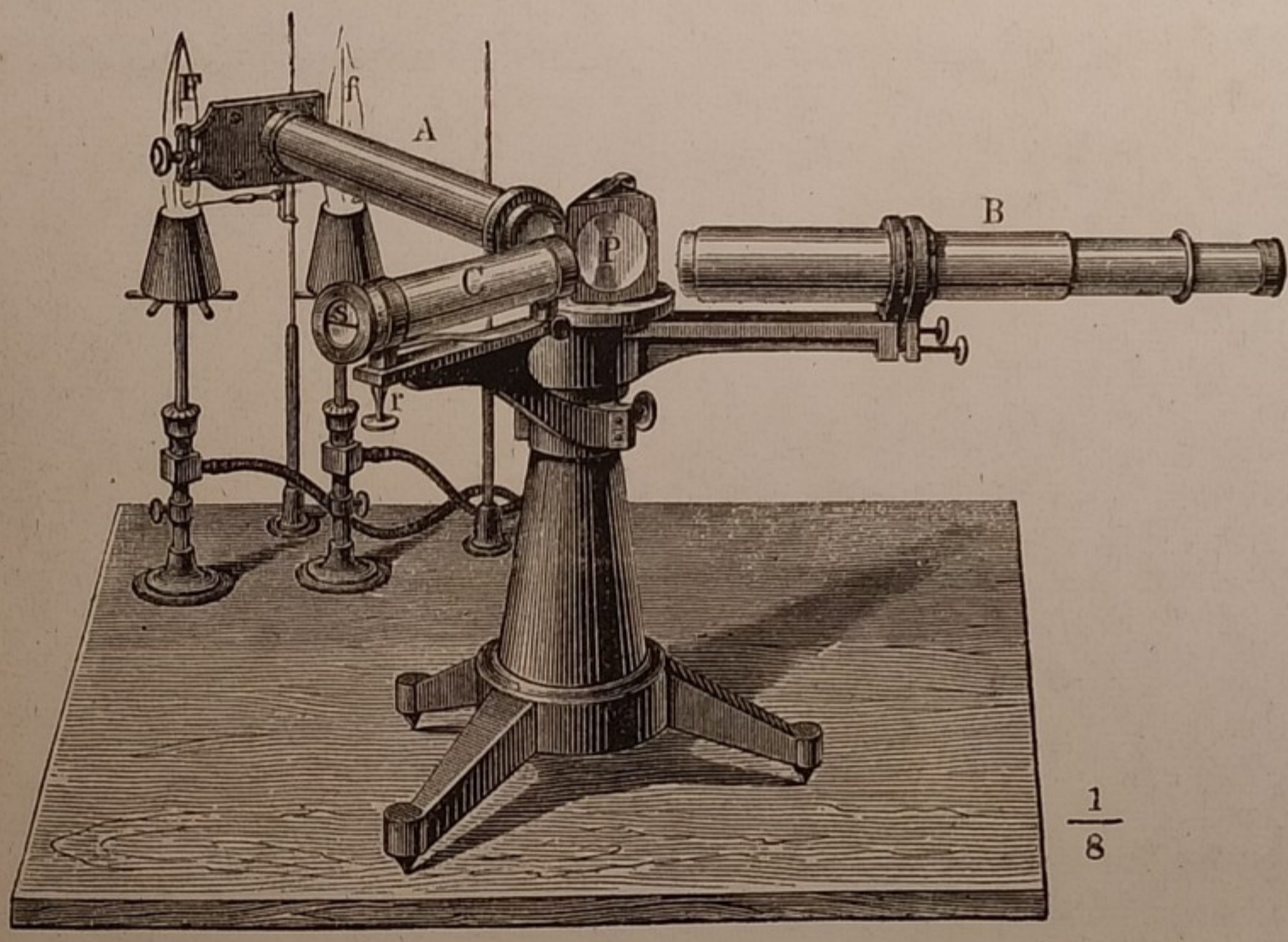
collocata in modo che l'immagine $a\,b$ si formerebbe a distanza alquanto maggiore della sua distanza focale. Perciò i raggi partiti dal punto A dell'oggetto, e che convergerebbero in a, vengono dalla lente divergente $v\,v$ così rifratti come se provenissero da a'; parimenti quelli partiti da B e convergenti verso b vengono rifratti come se provenissero da b'. Perciò un occhio collocato dietro all'oculare vede in $a'b'$ un'immagine virtuale, diritta e ingrandita.

I cannocchiali da teatro o binoccoli non sono che due cannocchiali di Galilei accoppiati per vedere con due occhi.

5. Ingrandimento. — Rappresentando con f la distanza focale dell'obbiettivo e con f' quella dell'oculare, l'ingrandimento è approssimativamente espresso dal rapporto $f:f'$, cioè *è in ragione diretta della distanza focale dell'obbiettivo ed in ragione inversa di quella dell'oculare.*

§ 45. Spettroscopi e analisi spettrale.

1. Spettroscopi. — Chiamansi *spettroscopi* gli apparecchi mediante i quali si osservano gli spettri della luce emessa dai corpi luminosi come pure di quella trasmessa dai corpi trasparenti. Constano di tre parti principali che sono: una *fenditura* per cui si fa passare la luce, un *prisma* che la scompone e un *cannocchiale* per osservarla.



1/8

Fig. 144.

2. Spettroscopio di Bunsen. — Lo spettroscopio di Bunsen, migliorato da Steinheil, è rappresentato dalla fig. 144.

Un prisma P di flint, coll'angolo rifrangente di 60°, è collocato verticalmente su di una piattaforma di ottone sostenuta da un piedestallo metallico.

Alla piattaforma è fissato stabilmente un tubo A detto *collimatore*, la cui estremità vicina al prisma è munita di una lente convergente, e l'estremità lontana è chiusa da una lastra metallica con una fenditura collocata nel foco principale della lente. Codesta fenditura si può allargare e stringere mediante una vite (che si vede nella fig. 144 a sinistra, e nella fig. 146 a destra). La luce emessa dalla sorgente luminosa collocata dinanzi alla fenditura, passando per questa, e poi per la lente e infine pel prisma, dà

uno spettro, che si osserva mediante un cannocchiale B; questo è portato da un braccio metallico fisso al piedestallo e girevole attorno al medesimo, cosicchè si può far variare l'angolo che l'asse del tubo B fa con quello del tubo A, al fine di poter osservare isolatamente le diverse parti dello spettro.

Per escludere la luce esterna da quella che si vuol esaminare il prisma è contenuto in una scatola cilindrica annerita, cui si sovrappone un coperchio, e la cui parete laterale è attraversata dai detti tubi A e B. Tale scatola non è indicata nella figura per lasciar vedere il prisma e le estremità dei tubi.

Le descritte parti dell'apparecchio bastano quando esso deve servire solo come *spettroscopio*, cioè quando si vuole solo osservare uno spettro e non pigliare delle misure.

3. Scala graduata. — Per *fissare la posizione relativa delle diverse parti dello spettro che si osserva* il piedestallo porta un terzo tubo C, il quale nell'estremità vicina al prisma è pure munito di una lente convergente, nel

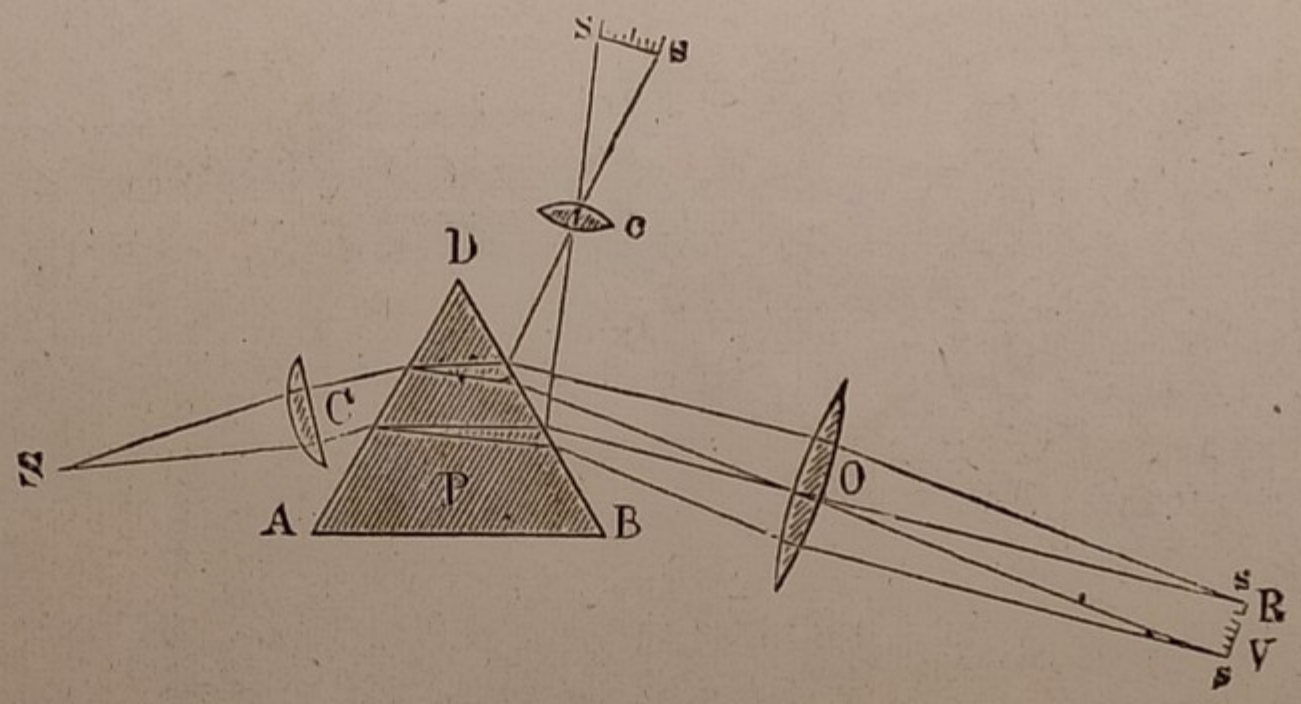


Fig. 145.

cui foco principale, all'altra estremità del tubo, sta una lastra di vetro, su cui vi è un'immagine fotografica negativa (cioè colle divisioni trasparenti) di una scala a millimetri, impicciolita circa 15 volte. Sopra e sotto detta scala la lastra di vetro è coperta di stagnola.

Questa scala, che si dispone orizzontalmente come si vede in *ss*, nella fig. 145, viene illuminata dalla fiamma vicina di una candela, o di un becco a gas, collocata sulla direzione dell'asse del tubo C.

Ora, questo tubo è così collocato che il suo asse forma colla faccia del prisma P rivolta al cannocchiale B un angolo eguale a quello che colla stessa faccia forma l'asse del detto cannocchiale. Perciò, guardando in questo, si vede, in opportuna posizione, contemporaneamente la scala *ss* (fig. 145) per riflessione sulla detta faccia del prisma P, e lo spettro generato da questo. Mediante la vite *r* (fig. 144) si può ancora sollevare od abbassare il tubo C, in modo che la scala si trovi al disopra o al di sotto dello spettro, per notare in quale delle sue divisioni stiano le diverse parti di questo.

4. Lampada Bunsen. — Per rendere luminosi i corpi bisogna, in generale, elevarne la temperatura oltre i 500°. Il modo più semplice per rendere una sostanza luminosa consiste nel collocarla in una fiamma avente elevata temperatura. Ma perciò bisogna che la fiamma stessa non dia spettro, se no sarebbe impossibile distinguere nettamente lo spettro della fiamma da quello della sostanza in essa vaporizzata. Una tale fiamma pochissimo luminosa è quella dell'alcool puro. Ma migliore di questa, perchè più calda, è quella del gas luce, nel cui interno arriva una corrente d'aria, che si ottiene mediante la lampada detta di Bunsen.

Per introdurre nella fiamma incolora della lampada Bunsen la sostanza che deve colorarla si usa un filo di platino, una cui estremità è saldata ad un tubetto di vetro, che si fa sostenere da un braccio metallico orizzontale, portato da una verga metallica (come si vede tra le due fiamme nella fig. 144), mentre la sostanza, o si colloca direttamente allo stato solido sull'altra estremità del filo di platino opportunamente ripiegato in modo da poterla sostenere, ovvero si fa sciogliere in un liquido in cui s'immerge il filo di platino ripiegato in modo che possa trattenerne una goccia, che poi si introduce nella fiamma.

Si deve collocare il filo di platino ad un'altezza tale che esso si trovi nella fiamma al di sotto della fenditura dello spettroscopio (come si vede nella fig. 144), affinchè non si scorga lo spettro continuo del platino incandescente, ma solo quello della fiamma colorata dalla sostanza introdottavi.

5. Confronto di spettri diversi. — La lastra munita di fenditura alla estremità del tubo A (fig. 144) ha la seguente disposizione: avanti alla metà inferiore della fenditura si applica un piccolo prisma *a b* (fig. 146) triangolare, equilatero, di vetro, la cui azione è indicata dalle figure 147 e 148.

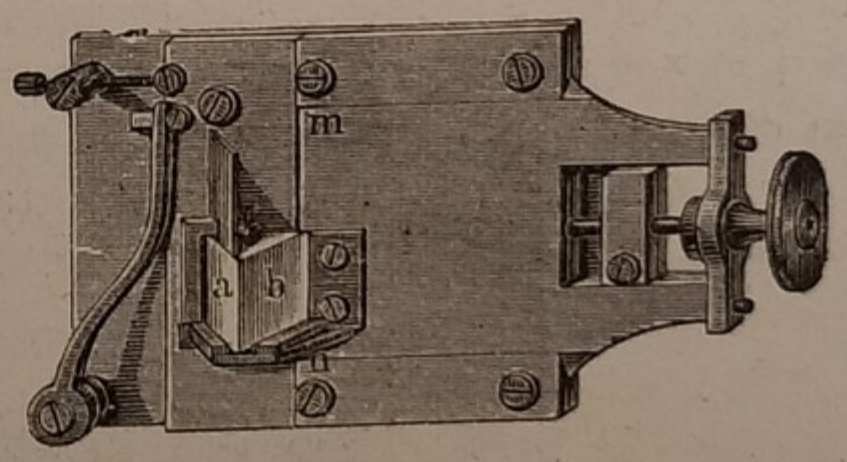


Fig. 146.

Primieramente il prisma *c d* (fig. 147) impedisce ai raggi luminosi che partono dalla fiamma collocata in F (fig. 144) di entrare nel tubo A per la parte inferiore della fenditura. Invece, quando un'altra fiamma sia collocata in L (fig. 147), i raggi che partono da questa e cadono perpendicolarmente sulla faccia *d f* non vengono deviati dal prisma, ma giungono sulla faccia *c d* in *r*, ove subiscono la riflessione totale, e poi escono dal prisma in *s* anche senza deviazione, e per la fenditura entrano nel tubo A (fig. 144); quindi osservando nel canocchiale B si veggono l'uno sopra l'altro due spettri; cioè al disotto lo spettro della fiamma F (poichè il cannocchiale astronomico B rovescia le immagini, pag. 248), e sopra lo spettro della fiamma L (fig. 147).

La descritta disposizione serve anche a *confrontar lo spettro di una fiamma qualunque collo spettro solare.* Infatti, se si toglie la fiamma F

(fig. 144), e si lascia entrare la luce solare diffusa per la metà superiore della fenditura *m n* (fig. 146), mentre la fiamma L (fig. 147) è quella gialla dell'alcool salato (che si ottiene mettendo un poco di sale di cucina sullo stoppino d'una fiamma ad alcool), si vede che la riga gialla dello spettro del sodio coincide esattamente colla linea nera D dello spettro solare, cosicchè la prima appare come un prolungamento della seconda.

6. Spettroscopi a visione diretta. — Una classe speciale di spettroscopi che, per le loro comodità, siccome piccoli e tascabili, vengono sempre

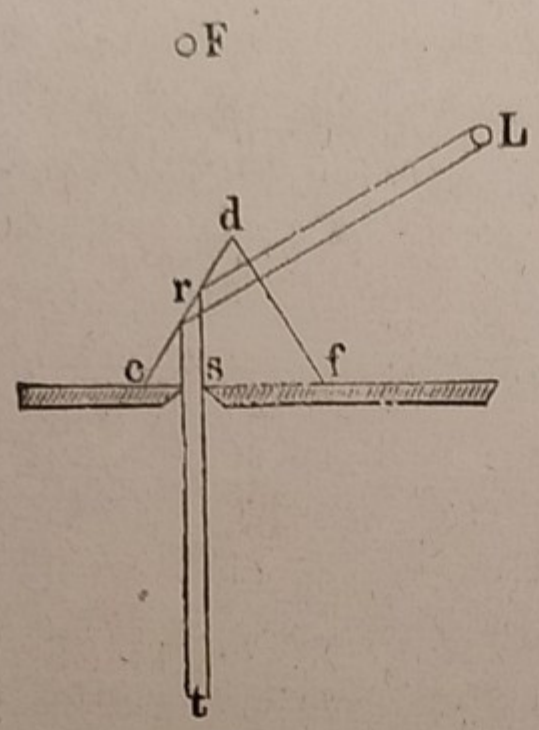


Fig. 147.

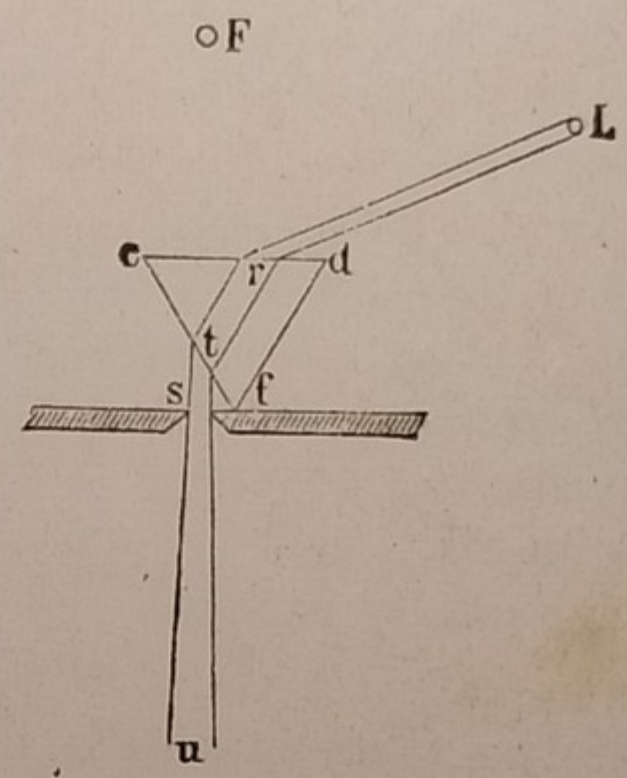


Fig. 148.

più in uso, sono quelli detti a *visione diretta*. Essi sono fondati sul fatto che, come si possono combinare due o più prismi i quali *deviano la luce senza scomporla* (pag. 221), così è possibile risolvere il problema inverso, cioè *scomporre la luce senza deviarla*. Mediante tale combinazione di prismi si può vedere ciascun punto luminoso nella direzione della linea retta che lo congiunge all'occhio, ma la sua luce è scomposta e ridotta ad uno spettro.

Lo spettroscopio a visione diretta di Browning (Londra) è rappresentato in sezione longitudinale dalla fig. 149, in grandezza circa $^2/_3$ della vera.

Fig. 149.

Un sistema di 3 ovvero di 5 prismi di crown e flint è contenuto in un tubo scorrevole in un altro, per adattarlo alla distanza della visione distinta, la quale varia pei diversi occhi. All'estremità *g* (a sinistra) trovasi la fenditura per cui entra la luce, la quale si regola facendo girare un anello vicino alla medesima, e in vicinanza al sistema dei prismi trovasi la lente del collimatore. L'apertura oculare trovasi all'estremità opposta *g* (a destra). Per riparare l'interno dello stromento dalla polvere alle sue aperture esterne sono applicate lastrine di vetro.

7. Analisi spettrale. — Lo scopo dell'analisi spettrale è quello di esaminare le qualità della luce che i corpi emettono od assorbono, il che permette di distinguerli l'uno dall'altro, cioè di farne l'analisi chimica.

Si distinguono dapprima due generi di spettri, cioè gli spettri di *emissione* e quelli di *assorbimento*. I primi sono somministrati dalla luce emessa dai corpi luminosi; i secondi risultano quando la luce emessa da un corpo luminoso è stata parzialmente assorbita da un altro.

Si distinguono poi tre specie di spettri di emissione e due di spettri di assorbimento. Ma per brevità si dà solo un cenno dei più importanti.

8. Spettro di emissione continuo. — Questo consiste in una striscia colorata come lo spettro solare, ma senza alcuna interruzione, cioè senza alcuna riga oscura. È presentato dai corpi solidi e sovente anche dai corpi liquidi incandescenti, e può essere più o meno esteso dal rosso al violetto, secondo la temperatura più o meno elevata della sorgente.

Tali spettri possono bensì variare alquanto secondo la temperatura della sorgente, ma differiscono poco fra loro, e perciò non sono caratteristici e non servono a distinguere un corpo dall'altro.

9. Modo di osservare lo spettro continuo. — Si colloca avanti la fenditura dello spettroscopio un filo di platino o di carbone reso incandescente dalla corrente elettrica, come quello delle lampade ad incandescenza, od un pezzo di calce viva reso incandescente (luce Drummond) mediante una fiamma di idrogeno, o almeno di gas luce, in cui si fa arrivare una corrente di ossigeno, come pure i carboni incandescenti della lampada ad arco.

Presentano pure un tale spettro continuo le fiamme comuni, come quelle degli olii, dei grassi, del petrolio, del gas-luce, ecc., perchè contengono particelle minutissime di carbonio allo stato solido è incandescente.

Esso dimostra che i solidi ed i liquidi a temperatura abbastanza elevata emettono tutti i numeri di vibrazioni costituenti la luce bianca.

10. Spettro di emissione a righe splendenti. — Questo spettro consta di linee splendenti, isolate o riunite in gruppi, separate da intervalli oscuri. Esso risulta dalla luce emessa dai gas o vapori dei corpi semplici, rarefatti e portati ad elevata temperatura. Ciascun gas o vapore presenta così uno spettro a

righe, speciale e caratteristico, che permette di distinguerlo dagli altri. Questo spettro è perciò il più importante nell'analisi spettrale.

Quando però i gas e i vapori elementari sono compressi e condensati cessano di dare tale spettro caratteristico, ma dànno anch'essi uno spettro continuo.

11. Spettri a righe dei metalli. — Per osservare gli spettri a righe dei metalli alcalini (sodio, potassio, litio, ecc.) basta guardare collo spettroscopio una fiamma Bunsen nella quale si è introdotto con un filo di platino una piccola quantità di qualche sale dei detti metalli. Servono bene a tale scopo i cloruri.

Per es., quando la detta fiamma è colorata in giallo con cloruro di sodio, si vede una sola linea splendente gialla (che si indica con Na, α) al posto della riga nera D dello spettro solare.

Secondo Kirchhoff e Bunsen per scorgere codesta riga basta che la fiamma contenga $^1/_{3\,000\,000}$ di milligramma di cloruro di sodio. E siccome si vede traccia della medesima anche senza mettere detto metallo nella fiamma, se ne conclude che esso si trova nel pulviscolo atmosferico.

Il che si spiega osservando come più di $^2/_3$ della superficie terrestre sono coperti di acqua, che tiene in soluzione cloruro di sodio, e i venti che sollevano i flutti strappano all'acqua goccioline, che poi svaporando lasciano nell'aria polvere di cloruro di sodio.

I *sali di potassio* danno un debole spettro continuo il cui maggior splendore è nell'azzurro, con due linee chiare caratteristiche, una (Kα) nell'estremo rosso, ed una più debole (Kβ) nel violetto; si ottiene più distinto tale spettro colle scintille elettriche. La sensibilità è solo $^1/_{3000}$ di quella del sodio.

Lo spettro del *cloruro di litio* è costituito da una riga rossa (Li,α) assai distinta e caratteristica, e una aranciata (Li, β) assai debole. La sensibilità della sua reazione è $^1/_{27}$ di quella del sodio, e quindi ancora assai grande.

Per ogni vapore metallico incandescente fu scoperto il sistema delle corrispondenti righe; perciò queste costituiscono un *mezzo delicato di analisi chimica.*

Alcuni corpi semplici, come il cesio, il rubidio, il tallio, l'indio, il gallio, vennero scoperti coll'analisi spettrale.

12. Spettro di assorbimento a linee oscure sottili. — È uno spettro la cui continuità è interrotta da linee oscure sottili, come lo spettro solare e delle stelle fisse, che sono altrettanti soli. Esso risulta quando la luce bianca emessa da un solido o liquido incandescente attraversa un' atmosfera di gas o vapore meno

splendente. Le linee oscure appaiono nei luoghi in cui il gas o vapore da solo avrebbe date linee splendenti. Perciò dalla presenza di queste linee si può conoscere la natura dei gas o vapori che si trovano in quell'atmosfera.

13. Prove sperimentali. — L'*enunciata proposizione* intorno all'origine delle linee oscure *si può dimostrare obbiettivamente e soggettivamente.*

Nel primo modo, si colloca avanti alla viva luce di una lampada elettrica, od a quella del magnesio, la fiamma dell'alcool salato. La luce che attraversa la fiamma colorata dal sodio viene concentrata con una lente e fatta passare per un prisma, quindi la si riceve su uno schermaglio, e si vede su questo uno spettro continuo, con una linea oscura, nel luogo in cui la fiamma gialla del sodio da sola avrebbe presentato una linea splendente gialla.

Si può vedere *soggettivamente la linea oscura del sodio* guardando con uno spettroscopio la luce elettrica, o del magnesio, i cui raggi passino attraverso alla fiamma dell'alcool salato.

14. Legge di Kirchhoff. — L'apparizione delle linee nere nello spettro s'interpreta mediante la legge di assorbimento stabilita da Kirchhoff, secondo la quale *un corpo che riceve raggi luminosi o calorifici assorbe appunto quelli che esso è capace alla sua volta di emettere.*

Tale fenomeno è analogo a quello della risonanza (vol. I, pag. 322), per cui, se una miscela di più onde sonore colpisce una corda tesa o un diapason, questi corpi ricevono il moto vibratorio da quelle onde che essi stessi possono emettere, ed irradiano poi essi stessi il moto vibratorio acquistato. Analogamente avviene per la luce.

Quindi nel luogo dello spettro cui corrisponde la luce assorbita dalla fiamma avviene un doppio effetto; la chiarezza viene aumentata dalla luce emessa dalla fiamma, diminuita invece dalla luce da essa assorbita. Ora, se essa assorbe più luce di quella che emette, evidentemente nel luogo corrispondente deve succedere un indebolimento di luce rispetto agli altri luoghi dello spettro, cioè una riga oscura. Ma perchè la fiamma assorba più luce di quella che emette, deve la sorgente luminosa che manda luce nella fiamma avere maggiore intensità luminosa di questa. Ora l'intensità luminosa dipende dalla natura dei corpi e dalla loro temperatura, e per corpi della stessa natura dipende solo dalla temperatura.

Perciò, nel caso del vapore di sodio, se la sorgente che dà lo spettro continuo è la fiamma di una lampada ad olio, e se fra essa e la fenditura dello spettroscopio si pone la fiamma dell'alcool salato, la linea D spicca splendente e non oscura, perchè la radiazione corrispondente alla detta linea emessa dalla fiamma dell'alcool salato è più intensa che quella della fiamma ad olio. Se invece la sorgente luminosa è più intensa della fiamma del sodio allora detta linea appare relativamente oscura.

15. Causa delle linee oscure dello spettro solare. — Pertanto, lo spettro solare colle linee di Fraunhofer ci insegna che il sole consta di un

nucleo di materia ad elevatissima temperatura, la cui superficie incandescente, detta *fotosfera* (sfera di luce), irradia luce bianca, la quale da sola darebbe uno spettro continuo. Questo nucleo è circondato da un'atmosfera di gas o vapori, denominata *cromosfera*, la quale, sebbene possegga una temperatura minore della fotosfera, è ancora abbastanza calda per contenere molti metalli come il ferro, il calcio, il magnesio, ecc., nello stato aeriforme. La luce della fotosfera, prima di arrivare a noi, dovendo attraversare la cromosfera, per l'azione assorbente dei gas e vapori che in essa si trovano, viene spogliata di quei raggi stessi che questi corpi sono capaci di emettere alla temperatura del nucleo, e che essi poi emettono bensì, ma con minore intensità, e così risultano le linee nere di Fraunhofer.

Lo spettro solare è perciò uno spettro di assorbimento, il quale contiene l'uno vicino all'altro gli spettri invertiti di tutte quelle sostanze che si trovano in stato aeriforme nell'atmosfera solare.

Presentano rimarchevole larghezza e oscurità le linee C e F, le quali corrispondono alle linee splendenti dell'idrogeno Hα e Hβ; quindi si deduce che l'idrogeno è un elemento abbondante nell'atmosfera solare. Centinaia delle linee più fine di Fraunhofer coincidono con quelle chiare del vapore di ferro incandescente; quindi si conclude che il vapore di ferro deve pure trovarsi nell'atmosfera solare. Così pure dalla presenza della linea oscura D si deduce la presenza del vapore di sodio.

Le due linee H sono dovute ai vapori del calcio, e il gruppo distinto da Fraunhofer colla lettera *b* è dovuto ai vapori del magnesio.

Oltre i precedenti, fra gli elementi conosciuti, si è accertato la presenza del bario, nichel, cobalto, cromo, manganese, mentre vi mancano l'oro, il platino, il mercurio.

Infine, nello spettro solare esistono anche molte linee oscure le quali non coincidono con nessuna delle linee degli elementi terrestri.

§ 46. Colori dei corpi.

1. Colori dei corpi per diffusione. — Si è già notato (pag. 166) che i corpi i quali non sono luminosi per sè stessi vengono da noi veduti in grazia della luce che ricevono dai corpi luminosi e che essi diffondono, cioè rimandano addietro in ogni direzione.

Ora si tratta di conoscere il perchè alcuni ci appaiono bianchi, altri colorati, altri neri.

Si ammette generalmente che un corpo ci appare *bianco* quando è capace di diffondere abbondantemente ed egualmente tutti i raggi colorati della luce bianca; ci appare *grigio* quando li diffonde pure tutti in eguale misura, ma debolmente; ci appare

nero quando non è capace di diffondere alcun raggio; infine ci appare *colorato* quando diffonde solo una parte dei raggi colorati componenti la luce bianca e assorbe gli altri.

2. Prove sperimentali. — Dapprima devesi rammentare che le superfici bianche, rosse, verdi, colpite dai raggi solari in una camera oscura diffondono in tutte le direzioni luce bianca, rossa, verde. Invece una superficie nera, e sovratutto il nero fumo, non diffonde punto luce. Perciò una camera a pareti bianche è più chiara che la stessa con pareti colorate. Quindi ancora l'uso dei telai bianchi avanti alle finestre delle camere per rischiararle.

Se si osserva una striscia sottile di carta bianca con un prisma si vedono tutti i colori dello spettro, il che prova che tale superficie rimanda i raggi di tutti i colori componenti la luce bianca che la illumina. Se la striscia di carta è alquanto larga, allora la si vede iridescente solo ai lembi superiore e inferiore, mentre nel mezzo appare bianca, perchè essa produce l'effetto di tante sottili striscie, ciascuna delle quali darebbe uno spettro; ma questi nel mezzo si sovrappongono e perciò ivi appare il bianco.

Se invece si osserva attraverso un prisma una sottile striscia colorata, vi si distinguono alcuni colori, cioè quelli che vengono diffusi dalla medesima, mentre mancano gli altri che essa non è capace di diffondere.

Anzi questa esperienza, che permette di analizzare i colori dei corpi, prova che, in generale, quelli non sono semplici; perchè, per es., le superfici rosse, verdi, ecc., esaminate col prisma, non presentano un solo colore, ma parecchi, dalla cui mescolanza risulta il colore del corpo.

Se si proietta lo spettro solare su un foglio di carta bianca vi si scorgono le varie tinte di quello, il che prova che tale superficie è capace di diffondere i raggi di ogni colore della luce bianca.

Una superficie grigia li diffonde pure tutti, ma debolmente.

Invece ripetendo l'esperienza con un foglio di carta perfettamente nera, come quella coperta di nero fumo, non si scorge alcun colore. Dunque questo assorbe tutti i raggi della luce bianca.

Infine, proiettando lo spettro su una carta o stoffa colorata, si vedono bene alcuni colori, perchè in generale, come si è or ora notato, i colori dei corpi non sono semplici, ma altre parti di quella superficie appaiono nere, perchè essa non è capace di diffondere i raggi colorati corrispondenti.

Così pure se si fa passare nei diversi colori dello spettro un corpo di color rosso puro, si vede che esso presenta il suo colore solo quando si trova nel rosso; e se il suo colore non è semplice, ma composto di più colori semplici, essa prende la tinta di questi quando passa nei corrispondenti colori dello spettro, mentre negli altri colori appare nero. Analogamente avviene per un corpo verde, ecc.

3. Influenza della luce sui colori dei corpi. — Perciò *i colori dei corpi si modificano secondo la qualità della luce che ricevono.* Infatti, se essi vengono illuminati colla fiamma gialla dell'alcool salato, solo quelli di

tinta gialla non cambiano colore, e gli altri presentano cambiamenti più o meno spiccati.

Per es., molti corpi che alla luce bianca appaiono rossi, illuminati da quella luce appaiono giallognoli, perchè il loro colore rosso non è semplice, ma risulta da una mescolanza di varii colori, fra cui si trova il giallo; ed essi, ricevendo solo luce gialla, diffondono solo questa, e presentano tale colore.

Così pure un foglio di carta bianca, e la faccia delle persone illuminate da qnella luce, appaiono giallognole, mentre i corpi nel cui colore non entra il giallo appaiono neri.

Parimenti, al lume di una candela, che è povero di raggi più refrangibili, azzurri, violacei, non si può distinguere un foglio giallognolo da uno bianco, perchè questo diffonde anch'esso specialmente i raggi giallognoli che riceve, e le stoffe azzurre appaiono verdognole, perchè diffondono specialmente la poca luce verde che ricevono.

Fenomeni analoghi si osservano illuminando i corpi con altre fiamme colorate, che si ottengono ponendo sullo stoppino della fiamma ad alcool composti metallici diversi; per es., con i sali di litio e di strontiana si ha una fiamma rossa, con quelli di bario e rame si ha fiamma verde.

4. Colori dei pittori. — Quindi si intende perchè i pittori ottengono, per es., il verde mescolando un colore azzurro con uno giallo, mentre i raggi aranciati dello spettro uniti cogli azzurri destano l'impressione del bianco (pag. 224). In generale, le materie coloranti non diffondono luce monocromatica, cioè di un solo colore; una materia gialla assorbe di preferenza i raggi violetti e azzurri; invece quella azzurra assorbe i raggi rossi e gialli; e perciò, nella luce diffusa da opportuna mescolanza delle due sostanze colorate, rimane predominante il verde.

5. Visibilità dei corpi neri. — Dal detto risulta ancora che un corpo nero è solo visibile per non essere perfettamente nero e per il contrasto col fondo non nero che lo circonda. Infatti, se si pone un corpo nero, per es., un pezzo di carta annerita con nero fumo, ovvero del carbone in polvere, su un panno nero, allora manca il contrasto e resta solo più la visibilità dipendente dalla non perfetta nerezza del corpo, e per la quale questo potrà ancora esser visibile, ma assai meno che se si trovasse su di un fondo bianco.

6. Colori dei corpi per trasparenza. — I corpi ci appaiono bianchi o colorati, non solo per la luce che diffondono, ma anche per quella che trasmettono, cioè che lasciano passare; e la causa di questa colorazione è analoga a quella per la quale ci appaiono colorati per diffusione, cioè: un corpo ci appare bianco per trasparenza quando lascia passare egualmente tutti i raggi colorati componenti la luce bianca, nero quando li assorbe tutti, colorato quando lascia passare solo una parte dei detti raggi e assorbe le altre.

7. Prove sperimentali. — Se si fanno passare i raggi colorati dello spettro attraverso un vetro bianco si vede che esso li lascia passare tutti egualmente; invece se si fanno passare attraverso un vetro rosso si vede che esso è trasparente per i raggi meno refrangibili, ma è quasi opaco per raggi verdi, azzurri e violetti. Solo i vetri colorati in rosso coll'ossido di rame (ossido ramoso Cu_2O) lasciano passare quasi esclusivamente i raggi rossi.

Analogamente per i vetri di altri colori.

Se poi la luce che è colorata per l'assorbimento di un mezzo si fa passare per un altro che assorbe appunto quella, allora essa viene completamente spenta. Perciò facendo passare la luce per due vetri di colori complementari, per es. uno rosso e l'altro verde, anche con piccola grossezza, essi la assorbono quasi completamente, e costituiscono un mezzo opaco.

§ 47. Cenni sul calore raggiante.

1. Calore raggiante. — Dicesi *calore raggiante* quello che si propaga nella materia imponderabile, cioè nell'etere, perchè tale propagazione avviene per raggi come quella della luce. Essa ha luogo tanto nell'etere libero, cioè nel vuoto assoluto, ove esiste solo la materia imponderabile, quanto per l'etere che si trova fra le molecole dei corpi senza che queste si riscaldino.

Tale è il caso del calore che ci viene dal sole, dapprima attraverso il vuoto interplanetario, e poi attraverso l'aria, senza riscaldarla sensibilmente, siccome lo prova il freddo delle alte regioni dell'atmosfera.

Così pure si deve ammettere che il calore che noi riceviamo da una stufa o altro corpo caldo, si propaga mediante la materia imponderabile, perchè noi non sentiamo più quel calore sulla faccia quando rivolgiamo questa dalla parte opposta, ovvero interponiamo uno schermo fra essa e la sorgente calorifica, mentre, se la propagazione avvenisse mediante riscaldamento dell'aria interposta, dovremmo sempre sentirne il calore come sentiamo il calore dell'aria calda che costituisce il vento detto *scirocco*.

Il calore raggiante si distingue in *luminoso* od *oscuro*, secondochè è accompagnato da luce o no. Per es. nel calore solare vi sono raggi calorifici luminosi e oscuri, siccome dimostra lo spettro solare (pag. 227). Lo stesso dicasi delle fiamme e dei corpi luminosi in generale. Invece una stufa e la maggior parte

dei corpi che posseggono calore, ma non sono luminosi, emettono soltanto raggi calorifici oscuri.

L'unica *differenza tra il calore oscuro e la luce* si è che, questa risulta da un moto vibratorio più celere di quello costituente il calore oscuro. Ciò risulta dall'osservazione che nello spettro solare vi sono raggi calorifici luminosi ed oscuri, e che questi ultimi sono meno rifrangibili dei raggi luminosi. Ora, siccome la rifrangibilità decresce col diminuire della celerità del moto vibratorio, consegue che questa è minore pel calore oscuro che per la luce.

Ogni corpo irradia calore ad ogni temperatura. Quando il calore che irradia è uguale a quello che riceve in un dato tempo, la sua temperatura non varia, il che costituisce il così detto *equilibrio mobile della temperatura*, cresce invece quando il calore ricevuto è maggiore di quello emesso, ed inversamente.

2. Apparecchi per lo studio del calore raggiante. — I termometri ordinari a mercurio non sono abbastanza sensibili all'azione del calore raggiante, perchè il liquido richiede un certo tempo per riscaldarsi e dilatarsi, e poi la superficie del vetro riflette una parte dei raggi. Si adopera invece nello studio del calore raggiante, o il termometro differenziale di Leslie (pag. 48), o il termoscopio di Rumford, o meglio il *termo-moltiplicatore* di Melloni le cui parti principali, come verrà esposto nello studio dell'Elettricità, sono una piccola pila termoelettrica, ed un delicato galvanometro. Adoperando galvanometri assai sensibili e servendosi, per le misure, di deviazioni piccolissime dell'ago magnetico del galvanometro, gli spostamenti sulla scala galvanometrica sono con una sufficiente approssimazione proporzionali alle quantità di calore che da una sorgente arrivano nell'unità di tempo su di una faccia della pila mentre l'altra è chiusa nel suo astuccio e mantenuta così alla temperatura dell'ambiente.

Come sorgenti di calore raggiante da adoperarsi in queste misure servono bene, ad esempio, od una spirale di platino riscaldata all'incandescenza in una fiamma ad alcool, od un recipiente di metallo di forma cubica pieno d'acqua mantenuta in ebollizione mediante una fiamma ad alcool, collocata in un cilindro cavo per modo che la radiazione della fiamma non possa farsi sentire sulla faccia della pila termo-elettrica.

3. Propagazione del calor raggiante. — *In un mezzo omogeneo l'irradiazione calorifica avviene in linea retta e colla*

stessa velocità della luce. Difatti se fra un corpo caldo ed un termometro si interpone un corpo opaco pel calore quello non indica più riscaldamento, e inoltre si è osservato che nell'istante in cui cessa un eclissi totale di sole in un dato punto della terra arriva ivi il calor solare insieme colla luce.

4. Intensità del calor raggiante. — *L'intensità del calor raggiante è in ragione inversa dei quadrati delle distanze dei corpi riscaldati dalla sorgente calorifica, e l'intensità dei raggi emessi obliquamente diminuisce col crescere dell'angolo che i raggi fanno colla normale alla superficie che li emette, e così pure la intensità dei raggi ricevuti obliquamente.*

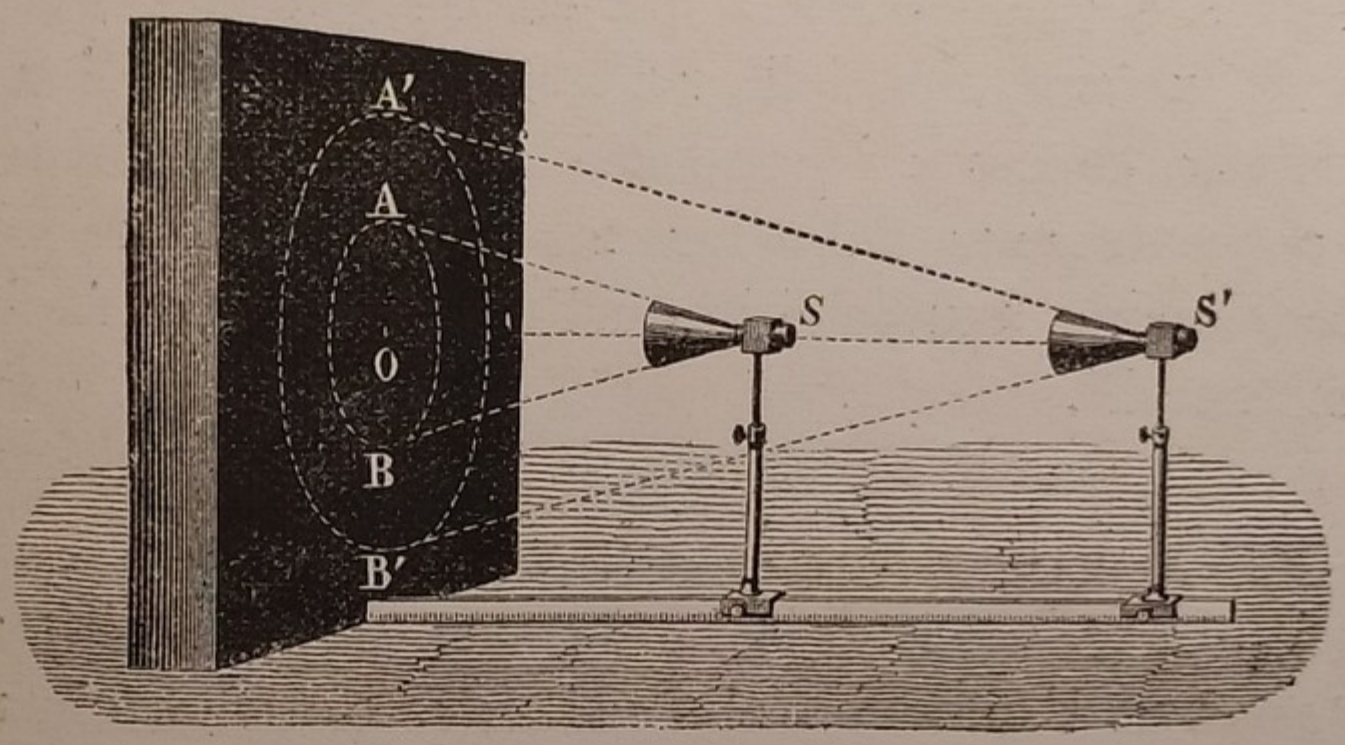


Fig. 150.

Le dimostrazioni razionali di queste leggi sono identiche a quelle già esposte per la luce (§ 28); quanto alle verifiche sperimentali dirette si può operare come segue.

Se si colloca la faccia scoperta della pila termoelettrica, munita del suo specchio conico, alle distanze 1, 2, 3, ecc., da un esteso recipiente metallico contenente acqua bollente (fig. 150) si vede che la deviazione dell'ago non varia, perchè, se alla distanza 1 (S O) il cerchio (A B), che irradia calore nell'imbuto speculare di cui è munita la faccia scoperta della pila, è un decimetro quadrato, a distanza 2 (S′ O) arriva nel medesimo il calore irradiato da un cerchio (A′ B′) di diametro doppio e quindi di superficie quadrupla, ecc.

Ora, se l'azione del calore che parte da questa superficie quadrupla è la stessa di quella del calore che parte dalla superficie unitaria, è da concludere che l'azione del calore di una superficie eguale, alla distanza doppia, è 4 volte minore, ecc.

Inclinando la superfice irradiante di una sorgente calorifica in modo che la pila riceva i raggi emessi obliquamente allora aumenta la superfice irradiante compresa nel cono dello specchio, ma la deviazione dell'ago rimane costante, perchè diminuisce nello stesso rapporto l'intensità dei raggi.

5. Riflessione del calor raggiante. — L'identità del calore raggiante colla luce si manifesta pure nel fenomeno della riflessione sulle superfici levigate dette specchi, perchè *i raggi calorifici si riflettono secondo le leggi generali della riflessione dei movimenti ondulatorii, già esposte pel suono e per la luce.*

La prova sperimentale più semplice che le leggi della riflessione della luce valgono anche pel calore è data dall'esperienza degli *specchi ustorii*, cioè della riflessione dei raggi solari su uno specchio sferico concavo, imperocchè nel foco principale, si ha non solo concentrazione della luce ma anche del calore solare che cade sullo specchio, tantochè in quello si accendono facilmente i corpi combustibili.

Con grandi specchi metallici concavi si possono così far fondere i metalli dai raggi solari.

Prendendo per sorgente calorifica un corpo caldo, ma non luminoso, per es. l'acqua o l'olio bollente, contenuto in un recipiente metallico a superficie annerita, ovvero una palla metallica più o meno calda ma non rovente, si prova che il calore oscuro si riflette come il calore luminoso.

Se poi si pongono l'uno di fronte all'altro due specchi sferici concavi (fig. 151) allineati sullo stesso asse principale, e nel primo foco si pone una sfera metallica molto calda, o un cestello contenente carboni ardenti, si vede che un corpo combustibile, per esempio, un poco di cotone fulminante collocato nel foco dell'altro specchio, tosto si accende, mentre l'accensione non avviene se la sostanza infiammabile è collocata fuori di quel punto, ancorachè sia più vicina alla sorgente calorifica.

Invece di un corpo combustibile si può mettere nel foco del 2° specchio la bolla di un termometro.

6. Potere riflettente. — Si dice: *potere riflettente assoluto di una sostanza: il rapporto fra la intensità dell'energia raggiante e quella riflessa.*

Il potere riflettente dipende dalla levigatezza della superficie, dalla natura del corpo, dalla inclinazione dei raggi sulla superficie e dalla qualità del calore incidente.

In generale per uno stesso corpo il potere riflettente cresce colla levigatezza, mentre col diminuire di essa cresce il calore riflesso irregolarmente, cioè il *calore diffuso*.

Quanto alla natura del corpo il potere riflettente è massimo nei corpi a superficie compatta, levigata e lucida come i metalli, minimo o nullo nel nero fumo.

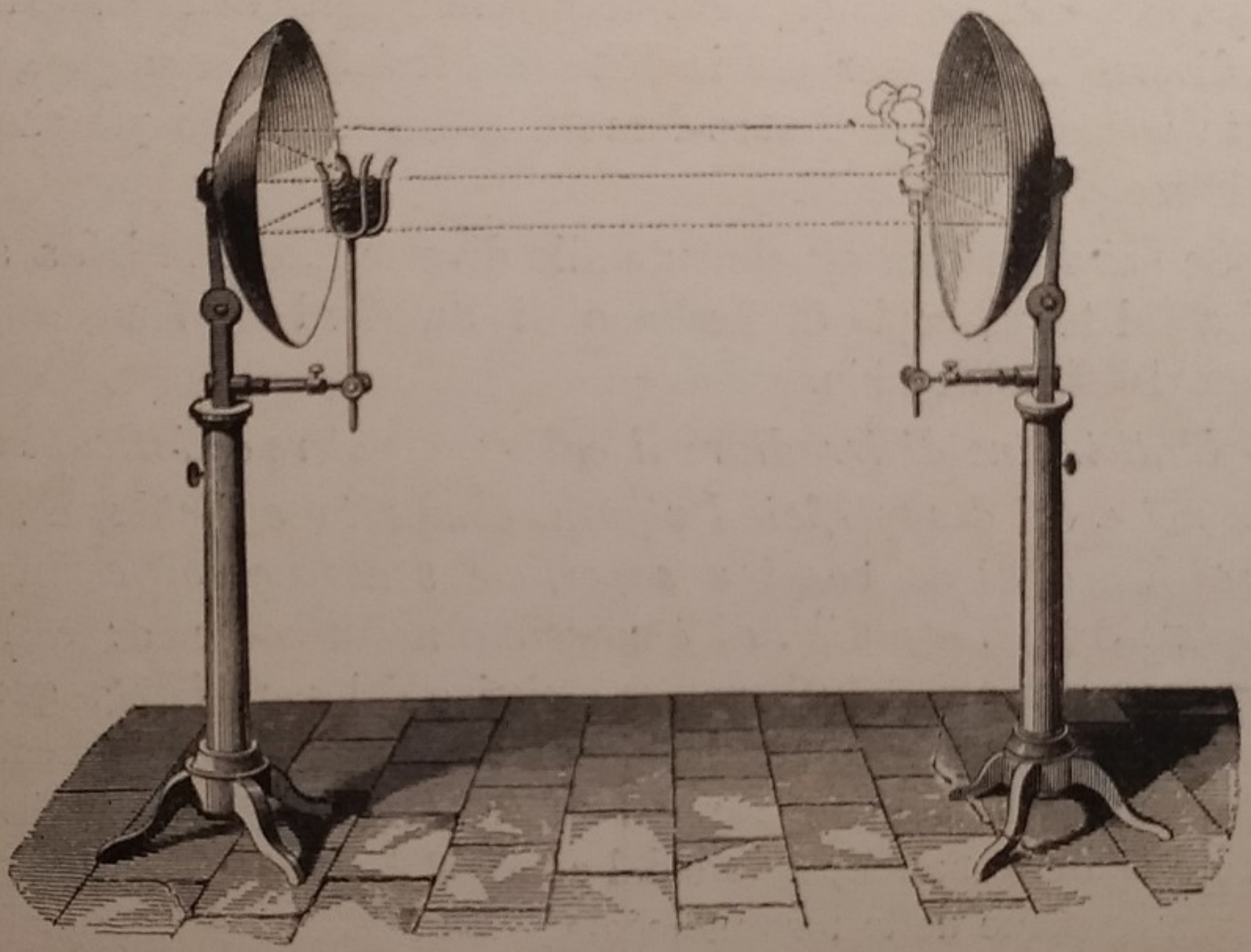


Fig. 151.

Per i corpi trasparenti, come vetro, cristallo di rocca, ecc., aumenta coll'angolo di incidenza.

Infine per una stessa sostanza diminuisce col crescere della temperatura della sorgente o della rifrangibilità dei raggi.

7. Rifrazione del calor raggiante. — Quando i raggi calorifici passano obliquamente da un mezzo in un altro si rifrangono e si disperdono secondo le stesse leggi della luce; il che risulta da quanto venne esposto intorno allo spettro solare, ed allo spettro ultra-rosso (pag. 227), il quale prova che la minore rifrangibilità appartiene ai raggi calorifici oscuri di più bassa temperatura.

8. Potere emissivo. — A parità di temperatura e di estensione superficiale i diversi corpi irradiano più o meno abbondantemente il loro calore, e perciò si dice che hanno diverso *potere emissivo pel calore.*

Ciò si può dimostrare col *cubo di Leslie*, che è un recipiente cubico di ottone, le cui quattro pareti verticali sono diverse, cioè una è nuda e lucida, l'altra è argentata, la terza è coperta da uno strato di nero fumo, e la quarta da uno strato bianco di cerussa, o carbonato di piombo. Ora, se si riempie questo recipiente di acqua bollente, basta accostare il dorso della mano alle sue diverse faccie, per sentire che esse irradiano assai diversamente il calore, cioè il nero-fumo e la cerussa assai più che le faccie metalliche lucenti.

Se poi si accosta egualmente alle diverse faccie la bolla annerita del termoscopio di Leslie o di Rumford il fenomeno si rende visibile all'occhio.

L'attitudine di irradiare il calore, o potere emissivo, è debole nei corpi a superficie levigata, compatta e lucida, come i metalli, grande nei corpi a superficie scabra e non compatta come nei corpi organici, ed è massima nel nero-fumo; così se si rappresenta con 100 il potere emissivo del nero-fumo, quello dei metalli è in media 12; la biacca o cerussa, che è bianca, ha un potere emissivo pure rappresentato da 100, il che indica il potere emissivo non dipendere dal colore dei corpi ma dallo stato di aggregazione delle loro molecole.

9. Fenomeni dipendenti dal potere emissivo. — I corpi a superficie tenera e scabra, come i vegetali, il terreno, hanno maggior potere emissivo che quelli a superficie compatta e lucida, come le pietre e i metalli; perciò i primi nella notte si raffreddano di più, e su di essi si condensa più abbondantemente il vapore acqueo, cioè si deposita più copiosa la rugiada.

Se un termometro viene appoggiato su ovatta, ed esposto all'irradiamento in una notte serena, cosicchè esso, senza ricevere calore dalla terra irradii il suo calore verso gli spazi planetari, freddi di almeno 100° sotto lo zero, esso scende assai più basso che un termometro non riparato dal calore terrestre; ma, se il cielo è coperto, il raffreddamento non avviene.

Così si spiega il grande raffreddamento che avviene nelle notti invernali serene, il grande raffreddamento notturno sotto il cielo sereno delle regioni tropicali, il quale viene perfino utilizzato ad ottenere ghiaccio.

10. Applicazioni del potere emissivo. — Per il grande potere emissivo del nero-fumo le pentole e caffettiere annerite si raffreddano più celeremente che quelle lucide, e perciò, per conservare i liquidi caldi nei recipienti metallici, per es., il caffè nelle caffettiere, conviene che la loro superficie sia lucida.

Così pure, i corpi i quali debbono emettere il calore, come le stufe, i tubi di queste, i tubi per cui circola l'acqua od il vapore nel riscaldamento ad acqua calda o a vapore, conviene che abbiano una superficie scabra e non lucida, mentre quelli che non debbono disperdere il calore, come i tubi che conducono il vapore dalla caldaia nelle bacinelle delle filande a vapore, e quelli che conducono il vapore dalla caldaia nel cilindro delle macchine a vapore, come pure i cilindri di queste, conviene che abbiano una superficie lucida.

11. Potere assorbente. — I raggi calorifici che penetrano in un corpo possono essere dal medesimo trasmessi, ovvero trattenuti. In quest'ultimo caso si dice che sono assorbiti, perchè comunicano il loro movimento alle molecole del corpo e lo riscaldano.

L'attitudine dei corpi ad assorbire il calore, o potere assorbente è attestata dal fatto che essi esposti ai raggi solari si riscaldano. Siccome poi tale riscaldamento varia nei diversi corpi, se ne deve concludere che il loro potere assorbente è diverso.

Per es., una stoffa nera assorbe il calore più che una stoffa bianca. D'onde l'uso di coprire il cappello con stoffa bianca per diminuire il riscaldamento del capo.

Così pure se si espone ai raggi solari un termoscopio di Rumford avente una bolla nuda e l'altra coperta di nero-fumo, si vede che la colonnetta liquida si allontana dalla seconda bolla, perchè questa assorbe il calore meglio dell'altra e perciò l'aria in essa contenuta si dilata maggiormente.

Il potere assorbente è minimo nei corpi che hanno il massimo potere riflettente ed inversamente; perciò è minimo nei metalli, e massimo nel nero-fumo; si è inoltre scoperto che l'assorbimento varia colla qualità dei raggi, ad eccezione del nero-

fumo che li assorbe tutti egualmente; per es., la biacca assorbe i raggi assai meno del nero-fumo quando la sorgente calorifica è luminosa, invece, quando la sorgente è oscura, i raggi vengono dalla medesima assorbiti completamente, come succede sempre per il nero-fumo.

12. Potere diatermico. — In generale, quando l'energia raggiante cade su un corpo una parte è riflessa regolarmente, l'altra è riflessa irregolarmente, cioè diffusa, un'altra è assorbita e riscalda il corpo, ed infine una quarta lo attraversa, cioè è trasmessa.

Il più sovente i quattro fenomeni avvengono contemporaneamente, raramente tre, o due soli.

Ora come i corpi possono essere trasparenti od opachi per la luce, così possono essere trasparenti od opachi pel calore.

I primi si dicono *diatermici* o *diatermani* (*dià*, a traverso, *termon*, calore), i secondi *adiatermici* o *adiatermani* (*a*, privat.).

Così, l'aria secca è diatermana perchè lascia passare il calore solare, mentre le nubi sono adiatermane perchè lo intercettano.

In generale, un corpo lascia passare i raggi che non riflette nè diffonde alla sua superficie, e che non assorbe.

Siccome poi i corpi trasparenti per la luce possono essere tali per tutte le qualità di luce, nel qual caso non sono colorati, come il vetro bianco, oppure possono essere trasparenti solo per certi raggi luminosi, nel quale caso sono colorati, come i vetri rossi, azzurri, ecc., così pure i corpi diatermici possono essere tali per ogni sorta di raggi calorifici, ovvero solo per certe qualità di raggi.

I primi si dicono *atermocroici*, cicè non colorati rispetto al calore (*crosis*, colorazione), e i secondi *termocroici*, ed in generale chiamasi *termocrosi:* il fenomeno della trasparenza dei corpi per certe qualità di raggi calorifici ed opacità per altre.

Così, l'aria secca e il salgemma sono corpi diatermani e atermocroici, perchè lasciano passare egualmente i raggi calorifici di ogni qualità.

Invece il vetro bianco è un corpo diatermano termocroico, perchè lascia passare i raggi calorifici luminosi e trattiene quelli

oscuri. Infatti, se si ricevono i raggi solari a traverso i vetri delle finestre si sente meno calore che quando si ricevono direttamente, perchè quelli trattengono in gran parte i raggi calorifici oscuri e lasciano passare solo i luminosi.

Quindi si chiama potere *diatermano* o *diatermico assoluto* di un corpo: *il rapporto fra la quantità di energia termica raggiante che lo attraversa e quella incidente.*

Per determinare il potere diatermico di un corpo si colloca la sorgente raggiante costituita, o dal cubo pieno di acqua calda, o da una spirale di platino incandescente, ad una distanza dalla faccia della pila termoelettrica tale che, coll'abbassamento del diaframma interposto, ne risulti una determinata deviazione dell'ago del galvanometro, per es., di 30°. Indi si interpone sul tragitto dei raggi la lastrina di cui si vuole misurare la diatermaneità, e si osserva la nuova deviazione.

Questa è sempre minore della prima in causa dell'energia riflessa sulle faccie e di quella assorbita. Il rapporto della 2ª deviazione alla 1ª dà il potere diatermico.

Per es., se con una lastra di salgemma, si osserva una deviazione di 27°,6 il suo potere diatermico è $\frac{27,6}{30}=0,92$. Quindi rappresentando con 100 la quantità del calore incidente, quella trasmessa dalla detta lastra è 92.

La differenza delle due deviazioni aumenta in generale colla grossezza della lastra. Ma nel salgemma (*Na Cl*) e nella silvina (K *Cl*) si mantiene quasi costante, e ciò prova che in questi due corpi l'energia non trasmessa è dovuta alla sola riflessione sulle faccie e non all'assorbimento.

13. Applicazioni della diatermaneità. — L'uso di coprire le piccole piante con campane di vetro è fondato sulla diatermaneità del medesimo pel calore luminoso, e adiatermaneità pel calore oscuro. I raggi solari calorifici luminosi attraversano il vetro e riscaldano la pianta; ma i raggi calorifici oscuri emessi da questa nella notte non attraversano più il vetro e così viene conservato il calore nella campana. Lo stesso effetto producono le invetriate delle serre.

Si usano i parafuochi di vetro perchè essi lasciano vedere il focolare, mentre trattengono il calore oscuro del medesimo.

§ 48. Arcobaleno e corone.

1. **Arcobaleno.** — L'arcobaleno od iride è un arco (fig. 152) composto di più archi concentrici, colorati colle tinte dello spettro solare (V. fig. 152), che si osserva nel cielo, quando si ha dinanzi la pioggia cadente e il sole alle spalle, poco elevato sull'orizzonte.

Tale fenomeno si presenta in più piccola scala ogniqualvolta una viva sorgente luminosa, come il sole o la luce elettrica, collocata dietro le nostre spalle, e a poca altezza sull'orizzonte,

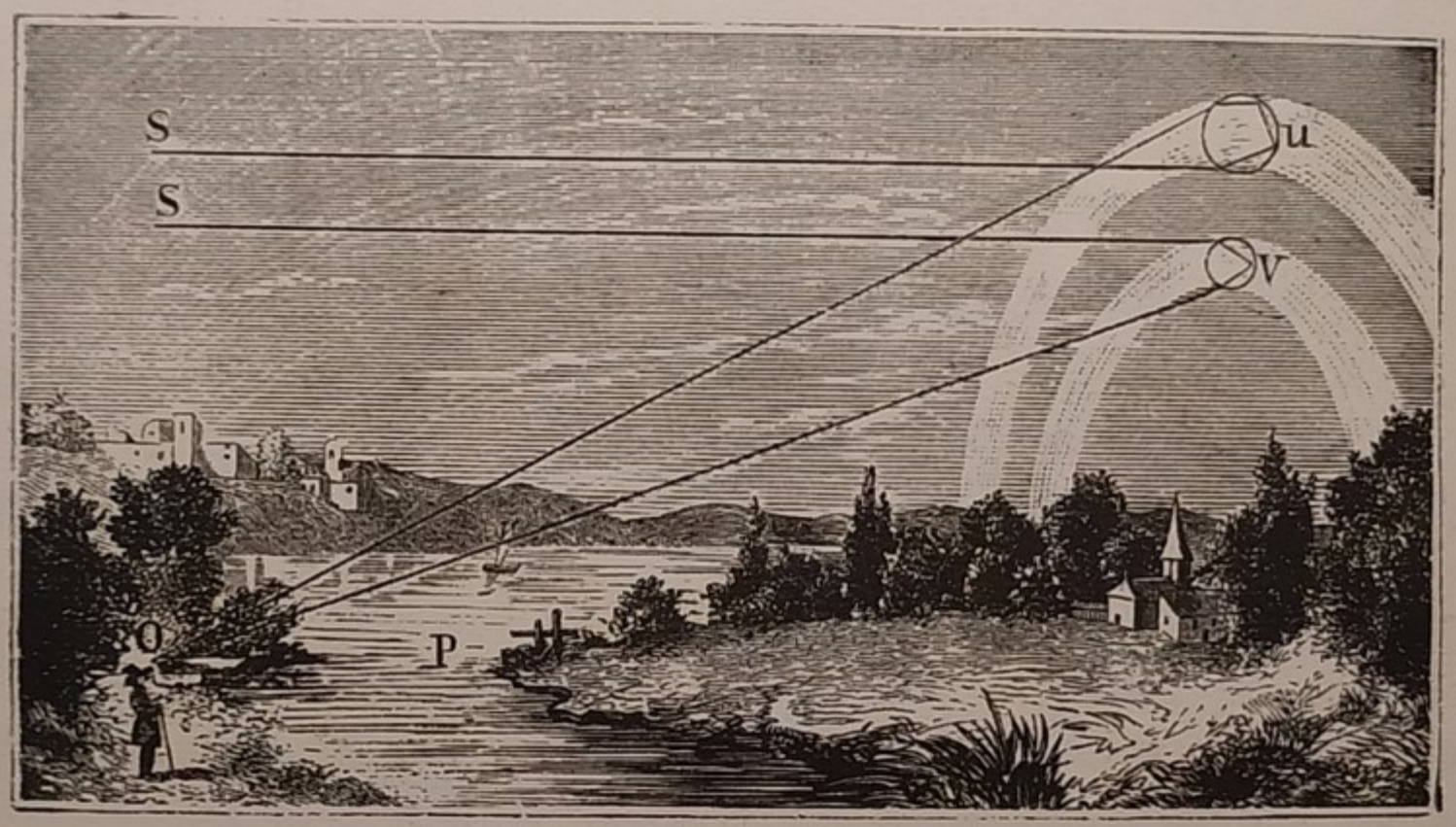


Fig. 152.

illumina le goccie d'acqua cadenti da uno zampillo, come anche negli spruzzi delle cadute d'acqua, e delle ruote a palette delle navi a vapore, o dei marosi delle onde marine.

Il centro dell'arcobaleno giace sulla retta che passa pel sole e per l'occhio dell'osservatore; perciò quando il sole si leva o tramonta, il detto centro trovasi sull'orizzonte, e l'arcobaleno diviene un semicerchio. Quanto più elevato è il sole, tanto più basso giace il centro dell'arco sotto l'orizzonte, tanto minore diviene l'arco sovrastante a questo. Non si osserva più arcobaleno se il sole trovasi all'altezza di 41°, o più, perchè il raggio dell'arco è di 41° circa. La larghezza poi dell'arco è circa 2°. I colori sono quelli dello spettro solare; il violetto nell'interno, il rosso all'esterno. Però, fra i sette colori principali dello spettro

solare componenti l'arcobaleno, solo i due estremi, rosso e violetto, sono puri, perchè gli altri si sovrappongono più o meno. Infine, ciascun osservatore vede un proprio arcobaleno.

Sovente, attorno al primo arcobaleno, se ne vede un secondo (*u*) esterno, più grande, concentrico e più pallido, nel quale la disposizione dei colori è inversa, cioè col rosso nell'interno e il violetto all'esterno. Il raggio di questo è di 52°.

Si veggono infine talvolta pezzi di arcobaleno.

L'arcobaleno interno o primario si interpreta mediante la scomposizione dei raggi solari che si rifrangono entrando nelle goccie di pioggia, subiscono una riflessione parziale sulla superficie interna posteriore di ciascuna goccia (siccome è indicato in V), e poi ne escono verso l'osservatore.

Siccome l'occhio può ricevere luce di uno stesso colore da tutte le goccie che giacciono sulla superfice conica generata dalla rotazione della linea O V attorno alla retta O P passante per il sole e per l'occhio dell'osservatore, e l'angolo di quelle linee è in media (fra quello dei raggi rossi e quello dei raggi violacei) di 41°, così il raggio medio dell'arco sottende il detto angolo.

Il diametro apparente del sole essendo di circa $^1/_2$ grado, tale sarebbe pure la larghezza di ciascun arco colorato, ma solo presentano tale larghezza quelli estremi, rosso e violetto, pei quali non avviene sovrapposizione, mentre la larghezza di tutto l'arco è di circa 2°, perchè il raggio dell'arco rosso supera di circa 2° quello dell'arco violetto.

Infine siccome il luogo abbandonato da una goccia cadente è tosto occupato da un' altra, perciò l'effetto per l'osservatore è lo stesso come se ciascuna goccia fosse immobile.

L'arcobaleno esterno o *secondario* risulta dalla scomposizione dei raggi solari che entrano nelle goccie inferiormente (come è indicato in *u* nella figura precedente) e dopo avere subito due riflessioni interne ne escono superiormente diretti in basso verso l'occhio dell'osservatore. In questo caso i raggi incidenti ed emergenti si intersecano e formano fra loro un angolo la cui grandezza varia col variare dell'angolo d'incidenza, e i raggi rossi efficaci emergenti fanno con gli incidenti un angolo di 50°, mentre quelli violetti fanno cogli stessi un angolo di 53° e $^1/_2$, cioè sono più inclinati e paiono provenire più dall'alto. Perciò l'arco violetto

appare all'occhio al di sopra dell'arco rosso, ossia nell'arcobaleno secondario il violetto è esterno, ed il rosso è interno.

Infine l'arcobaleno esterno è più pallido di quello interno perchè prodotto dai raggi che hanno subìto una doppia riflessione interna, la quale indebolisce la luce.

2. Corone solari e lunari. — Quando il cielo è coperto da un velo nebuloso semitrasparente si veggono sovente, attorno al sole ed alla luna, cerchi colorati iridescenti, col rosso all'esterno, i quali si dicono *corone*. Il cerchio interno è immediatamente in contatto colla luna o col sole, e l'esterno ha solo un diametro di pochi gradi, da 2° a 5°, raramente di 10°. Talvolta questi cerchi non sono completi. Essi appaiono più frequentemente attorno alla luna che al sole, per lo splendore abbagliante di questo; infatti si veggono più facilmente se si guarda l'immagine del sole nell'acqua, ovvero in uno specchio piano annerito posteriormente.

Tali corone hanno la massima rassomiglianza colle *glorie* che appaiono attorno ad una fiamma quando la si osserva attraverso ad una lastra di vetro cosparsa con seme di licopodio, od appannata da un leggero velo di vapore acqueo condensato, e si attribuiscono ad un fenomeno detto *diffrazione*, cioè alla scomposizione dei raggi luminosi che passano rasenti agli orli di corpuscoli sottili, quali sono quelli disposti sulla lastra, ovvero le goccioline d'acqua, o i cristalli di ghiaccio, che costituiscono il velo nebuloso semitrasparente, ovvero i tessuti trasparenti di seta, ovvero le barbe di una penna.

Quanto minori sono le goccioline tanto maggiore è il diametro della corona. Piccole corone indicano aumento del diametro delle goccioline, cioè tempo cattivo. Corone incolori indicano ineguali grandezze delle goccioline.

Capitolo IV.

ELETTRICITÀ E MAGNETISMO

§ 49. Elettricità sviluppata per strofinìo, e sua comunicazione per contatto.

1. Esperienze. — Se si strofina con stoffa di lana, o con cuoio, un bastone di vetro o di ceralacca, esso acquista la proprietà, che prima non aveva, di attrarre corpi leggieri (fig. 153), siccome ritagli di carta o di paglia, segatura di legno, pallottole di sambuco o di sughero, e dopo il contatto col bastone tali corpi vengono respinti dal medesimo, il che si osserva specialmente colle pallottole di sambuco, le quali danzano in presenza di un bastone di vetro così strofinato.

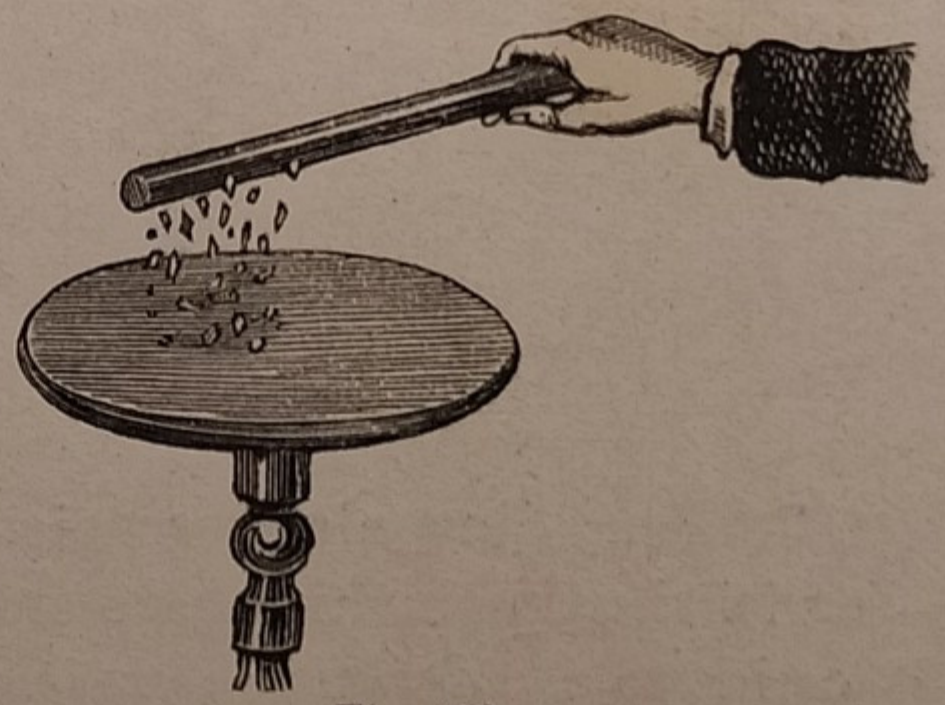


Fig. 153.

Per rendere tali fenomeni più vigorosi conviene cospargere la lana ed il cuoio con una materia gialla detta *oro musivo*, composta di zolfo e stagno, oppure con una polvere nera detta *amalgama di Kienmayer*, composta di stagno, zinco e mercurio.

Lo stesso fenomeno si osserva strofinando lo zolfo, l'ebanite o caucciù indurito.

Invece del cuoio e della lana si possono pure usare come sostanze strofinanti, la seta, le pelliccie, ecc.

2. Elettricità. — Il detto fenomeno ottenuto per la confricazione era già conosciuto dagli antichi Greci nell'ambra gialla, dal cui greco nome *electron* venne il nome di *elettricità* alla causa del medesimo.

I corpi che hanno acquistato lo stato elettrico si dicono *elettrizzati*.

Tutti i corpi si elettrizzano per strofinìo; ma alcuni, come ad es., i metalli, tenuti colle mani, non manifestano lo stato elettrico, per una causa che si farà conoscere più innanzi.

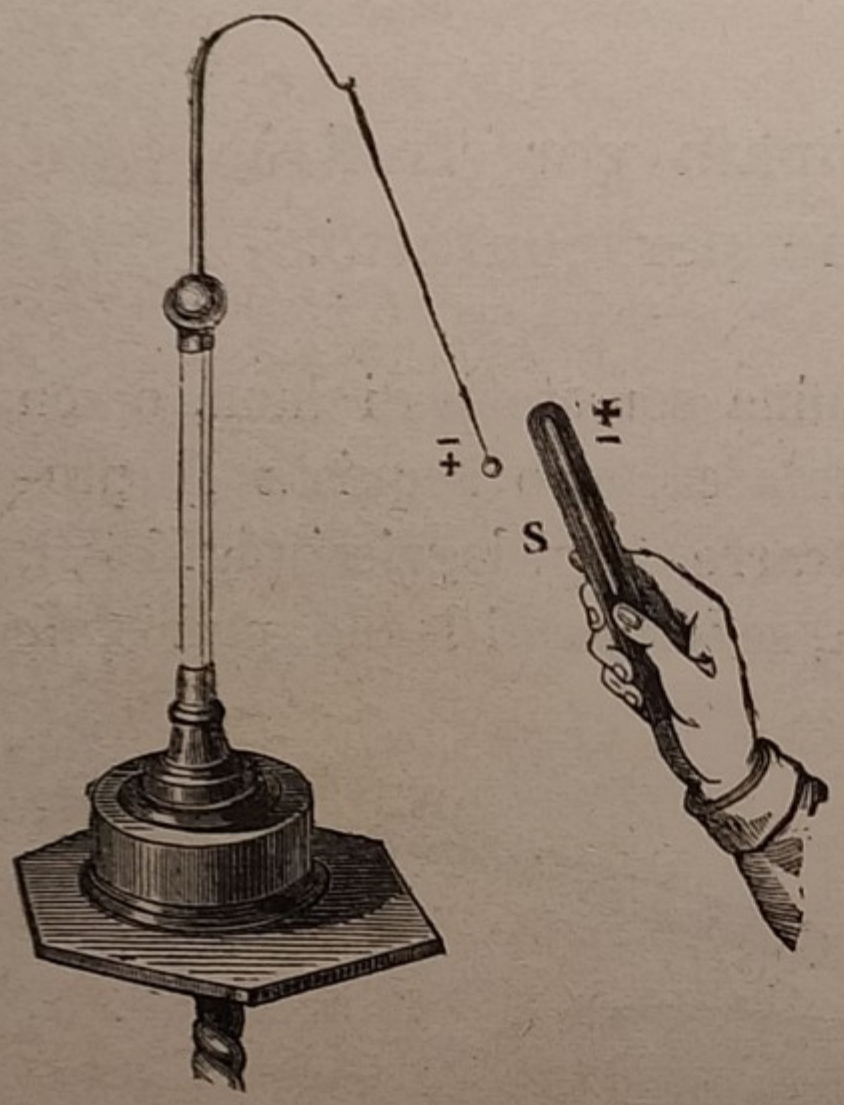


Fig. 154.

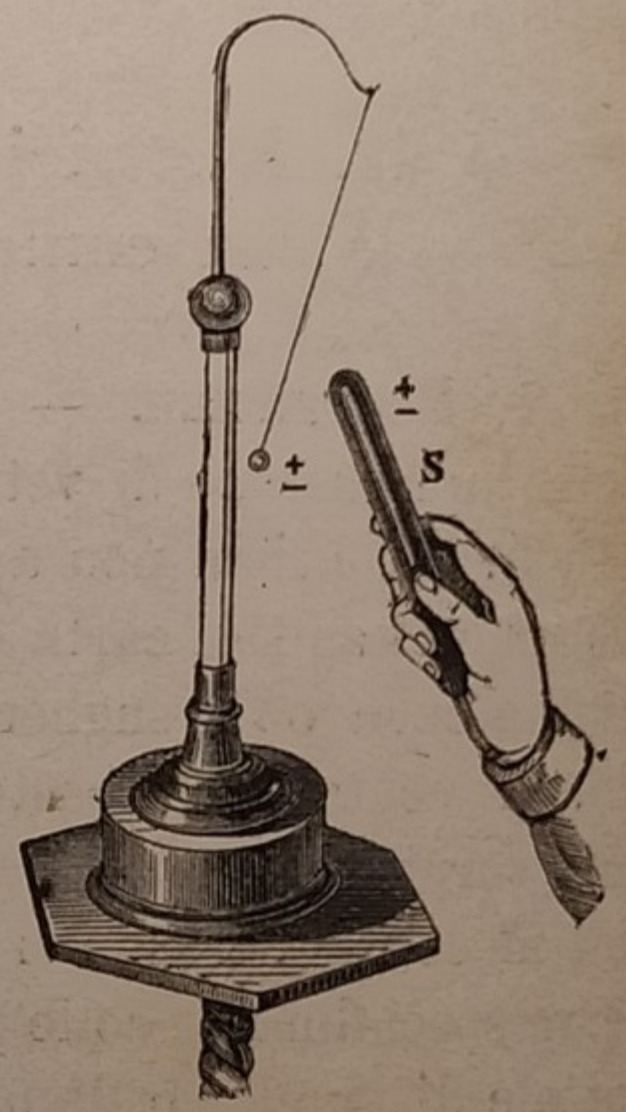


Fig. 155.

3. Pendolino elettroscopico. — Per studiare i fenomeni elettrici si usano molti apparecchi, fra i quali il più semplice è il cosidetto *pendolino elettroscopico*, che consiste in un corpo leggiero, come una pallottola di midollo di sambuco,(figure 154 e 155) appesa ad un sostegno di vetro mediante un filo di seta.

4. Comunicazione dell'elettricità per contatto. — Ora, se ad un pendolino elettroscopico si accosta un bastone di vetro o di ceralacca elettrizzato, si osserva che mentre il pendolino dapprima viene attratto (fig. 154), dopo il contatto viene respinto (fig. 155)

D'onde risulta che nel contatto del corpo elettrizzato col pendolino è avvenuto un cangiamento in questo, il quale non può consistere che nella partecipazione della elettricità del corpo elettrizzato al pendolino, perchè questo ne può attrarre un'altro.

Dunque il 1° pendolino pel contatto del corpo elettrizzato ha acquistato esso pure lo stato elettrico; cioè *l'elettricità si comunica da un corpo ad un altro per contatto.*

Quando un corpo è divenuto elettrizzato per strofinio, o per comunicazione, si dice che è stato *caricato di elettricità ;* se esso ha perduto la sua elettricità per contatto, o per qualunque altro modo, lo si dice *scaricato di elettricità.*

§ 50. Corpi buoni e cattivi conduttori della elettricità.

1. Esperienze. — Se si strofina solo una piccola parte di un bastone di vetro, o di ceralacca, oppure di zolfo, o di ebanite, si vede che esso attrae un pendolino solo nella parte strofinata e non nelle altre. Invece se si comunica elettricità ad un bastone di metallo (S D, fig. 156) munito di un manubrio (C S) di vetro, eppure ad un disco di metallo (B, fig. 157) munito anch'esso d'un

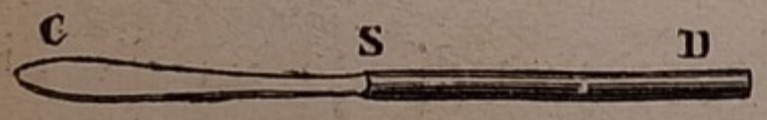


Fig. 156.

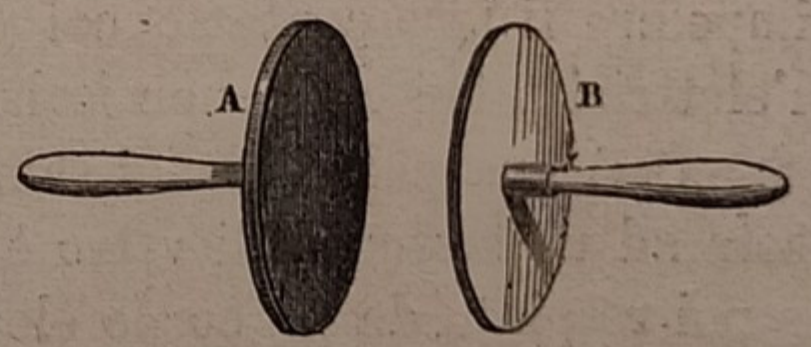


Fig. 157.

manubrio di vetro, toccandolo in un punto solo con un corpo elettrizzato, e poscia lo si accosta ad un pendolino, si vede che il metallo attrae questo non solo nel luogo a cui venne comunicata elettricità per contatto, ma anche in tutti gli altri luoghi della sua superficie.

2. Corpi buoni e cattivi conduttori dell'elettricità. — Da queste esperienze si deve concludere che vi sono dei corpi, come il vetro, la ceralacca, lo zolfo, l'ebanite, ecc., nei quali la elettricità si propaga difficilmente da una molecola all'altra, ed

altri, come i metalli, nei quali tale propagazione avviene facilmente. I primi si dicono *cattivi conduttori* della elettricità, ed i secondi *buoni conduttori*.

Nella seguente serie i corpi nominati sono disposti per ordine di conduttività decrescente:

Buoni conduttori: i metalli, la cui conduttività va decrescendo nella seguente serie: argento, rame, oro, zinco, platino, ferro, stagno, piombo, mercurio. Seguono alcuni ossidi e solfuri metallici, come la pirolusite (biossido di manganese) e le piriti (solfuri di ferro e di rame), il carbone calcinato (coke), gli acidi, le soluzioni saline, l'acqua comune, i vegetali e animali vivi, il filo di lino e di cotone.

Mediocri conduttori: l'alcool, il legno secco, il marmo, la carta ordinaria, la paglia, il ghiaccio a zero gradi.

Cattivi conduttori o *coibenti:* gli ossidi terrosi secchi, gli olii grassi, il ghiaccio a — 20°, la calce, il caucciù, le essenze, la porcellana, il cuoio, la carta secca, le penne, i peli, la lana, la seta, le pietre preziose, il vetro, la cera, lo zolfo, le resine come l'ambra e la gomma lacca, la ceralacca, l'ebanite, il quarzo, i gas secchi alla temperatura ordinaria.

3. Isolatori. — I cattivi conduttori chiamansi anche *isolatori*, o *coibenti*, perchè servono ad isolare i conduttori, ossia ad impedire il loro contatto col suolo, nel quale si disperde sempre l'elettricità dei corpi non isolati.

Così una pallottola di sambuco appesa mediante un filo di seta ad un sostegno di vetro è isolata, e viene dapprima attratta e poi respinta da un corpo elettrizzato, perchè non perde la sua elettricità pel sostegno; invece una pallottola di sambuco, appesa mediante un filo di lino, o di metallo, ad un sostegno metallico, costituisce un pendolino non isolato, ed essa dopo il contatto col corpo elettrizzato non è respinta, perchè la sua elettricità continuamente si disperde.

Quindi si intende come per elettrizzare i metalli non bisogna tenerli colle mani, perchè l'elettricità sviluppata negli stessi si comunica alla mano, e da questa al suolo. Ma se si tengono con un manubrio isolante di vetro o di ebanite, e si strofinano con pelliccia, o cuoio, o lana, ecc., allora si riesce ad elettrizzarli per strofinìo.

I buoni conduttori della elettricità si scaricano istantaneamente quando si toccano in un punto colla mano o con un conduttore unito al suolo; invece i cattivi conduttori, toccati in un punto, perdono solo l'elettricità esistente in questo.

§ 51. Le due specie di elettricità e le loro reciproche azioni.

1. Esperienze. — Se si prendono due pendolini isolati e poi si strofinano con lana due bastoni, uno di vetro, l'altro di ceralacca, si verificano i seguenti fenomeni:

1° Accostando il bastone di vetro elettrizzato ad un pendolino si vede che questo è dapprima attratto e poi respinto, e lo stesso avviene accostando il bastone di ceralacca all'altro pendolino;

2° Se al pendolino elettrizzato dal vetro, e respinto da questo, si accosta il bastone di ceralacca elettrizzato, si vede che lo attrae, e parimenti, se al pendolino elettrizzato dalla ceralacca, e respinto da questa, si accosta il bastone di vetro elettrizzato, si vede attrazione.

2. Due specie di elettricità e loro denominazioni. — Dalle precedenti esperienze risulta che: *l'elettricità sviluppata nel vetro strofinato con lana è diversa da quella sviluppata nella ceralacca strofinata pure con lana.*

Queste due specie di elettricità, che si sviluppano nel vetro e nella resina, si distinsero dapprima coi nomi di *vitrea* e *resinosa*; ma poi, essendosi riconosciuto che anche il vetro può acquistare l'elettricità della resina, e viceversa, si abbandonarono le dette denominazioni, e si adottarono quelle di elettricità *positiva* e *negativa*, proposte da Franklin, per significare l'opposizione delle due elettricità.

Per brevità indicheremo sovente l'elettricità positiva col segno + e la negativa col segno —.

3. Mutua azione dei corpi elettrizzati. — Nei precedenti esperimenti il pendolino elettrizzato dal vetro è respinto da questo, mentre è attratto dalla resina, e il pendolino elettrizzato dalla resina è respinto da questa, mentre è attratto dal vetro.

Di più, se due pendolini isolati si toccano ambidue col vetro, o ambidue colla resina elettrizzata, si vede che essi si respingono; se invece l'uno viene toccato dal vetro e l'altro dalla resina, essi si attraggono.

Quindi consegue la legge: *i corpi che hanno la stessa elettricità si respingono, e quelli che hanno elettricità contraria si attraggono.*

4. Le due specie di elettricità si sviluppano sempre nei due corpi diversi strofinati ed in eguale quantità. — Per provare il primo fatto basta presentare il corpo strofinato e il corpo strofinante a due pendolini elettrizzati l'uno dal vetro e l'altro dalla ceralacca, e sempre si verifica che mentre il corpo strofinato respinge un pendolino e attrae l'altro, il corpo strofinante respinge questo e attrae quello.

Se poi si strofinano due dischi diversi muniti di manubrii isolanti e si presentano separati ad un pendolino non elettrizzato si vede che ambidue lo attraggono, ma se si presentano uniti non vi ha attrazione; il che prova che *le loro elettricità contrarie sono in eguale quantità.*

Dunque *non si può sviluppare uno stato elettrico senza che si manifesti anche l'altro in uguale quantità.*

5. La qualità della elettricità che i corpi assumono per strofinìo non è sempre la stessa, ma può variare dipendentemente da diverse cause, quali sono la natura del corpo strofinante, lo stato della superficie, la temperatura, ma non si conoscono in proposito leggi generali.

L'*influenza della natura del corpo strofinante* è provata dalle seguenti esperienze:

1° Il vetro e la resina, strofinati colla stessa sostanza, cioè con lana, si elettrizzano l'uno +, l'altro —. Ora se i due corpi strofinati pigliano sempre elettricità contraria, consegue che la lana strofinata col vetro liscio prende elettricità —, e strofinata colla resina prende l'elettricità +, siccome si può verificare con pendolini elettrizzati.

2° Mentre un bastone di ceralacca strofinato con lana acquista elettricità negativa, strofinato leggermente con cuoio cosparso di oro musivo con amalgama (pag. 273) acquista elettricità positiva, e così pure l'ebanite.

3° Un bastone di vetro liscio strofinato con pelle di gatto diviene negativo, mentre col cuoio diviene positivo.

Nella seguente serie i corpi sono ordinati in guisa che uno qualunque di essi si elettrizza + quando viene strofinato con uno di quelli che lo seguono, e — quando lo si strofina con uno di quelli che lo precedono: *pelle di gatto*, *vetro liscio*, *lana*, *vetro smerigliato*, *resine*, *ceralacca*, *solfo*, *guttaperca*, *metalli*.

Però il vetro liscio si elettrizza sempre + quando è strofinato con cuoio cosparso di oro musivo, ovvero con l'amalgama di Kienmayer (pag. 273). Il che somministra un mezzo sicuro di avere il vetro elettrizzato +.

Sullo stato elettrico che assume un corpo influisce anche il *modo di strofinamento:* così la ceralacca strofinata *leggiermente* colla lana o col cuoio assume lo stato elettrico + anzichè quello —.

Si dimostra l'*influenza dello stato superficiale* strofinando con lana un bastone di vetro metà liscio e metà smerigliato, e si verifica che, il più sovente, mentre il 1° assume lo stato elettrico +, il 2° assume lo stato elettrico —.

Così pure se si strofinano assieme due dischi di vetro, uno liscio, l'altro smerigliato, il 1° diviene +, il 2° —.

L'*influenza della temperatura* è provata dal fatto che strofinando assieme due corpi identici, ma uno caldo, l'altro freddo, il 1° prende di consueto l'elettricità —, ed il 2° l'elettricità +.

In generale si producono sempre le due elettricità nello strofinìo di due sostanze, purchè esista fra di esse qualche differenza, o per la natura, o per lo stato superficiale, o per la temperatura, ecc.

Infine, siccome premendo i corpi strofinati oltre un certo limite essi si riscaldano di più, ma non aumenta il loro stato elettrico, si conclude che lo strofinìo riesce efficace solo perchè con esso si rende più perfetto il contatto dei corpi scacciando lo strato d'aria interposto, e se ne conclude il principio fondamentale: *il contatto dei corpi eterogenei sviluppa elettricità contraria nei medesimi.*

§ 52. Elettroscopii e dispersione dell'elettricità.

1. Elettroscopii. — Si dicono *elettroscopii* gli apparecchi che servono ad indicare se un corpo è elettrizzato e quale sia la specie della sua elettricità. Tali sono già i pendolini elettroscopici (pag. 274).

2. Elettroscopio a pagliuzze. — Si ottiene un elettroscopio più delicato sospendendo due pagliuzze (M, N, fig. 158) ad una verghetta di ottone sostenuta da una campana di vetro, di cui attraversa il tappo che ne chiude la bocca superiore. La verghetta termina superiormente con una sferina (C) pure di ottone. Così quella e le pagliuzze rimangono sospese ed isolate dal vetro.

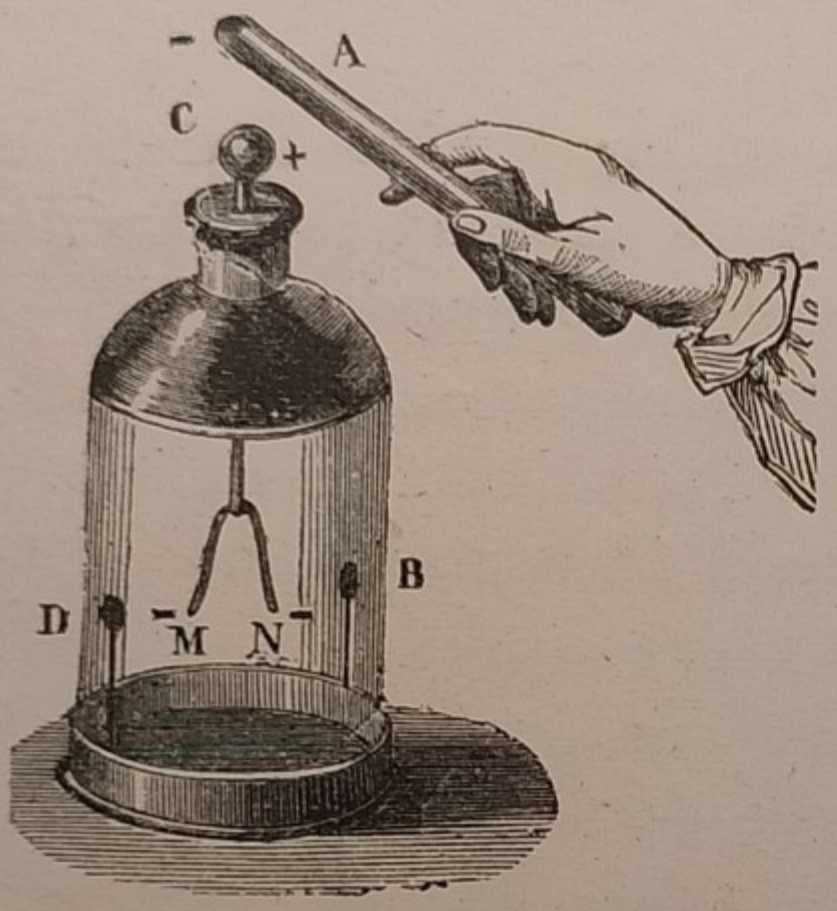


Fig. 158.

Ora, portando in contatto col bottone (C) un corpo debolmente elettrizzato, l'elettricità si comunica al bottone e poscia alle pagliuzze, le quali poi divergono stabilmente a guisa di due pendolini omonimamente elettrizzati (pagina 274). Anzi, se il corpo che si presenta al bottone (C) è alquanto fortemente elettrizzato, si vede che le pagliuzze divergono prima che il corpo sia venuto in contatto col bottone, per un fenomeno che studieremo più innanzi.

3. Elettroscopio a foglie d'oro. — Se alle due pagliuzze dell'apparecchio ora descritto si sostituiscono due nastrini tagliati da una foglia d'oro, quale usano gl'indoratori, si ha un *elettroscopio a foglie d'oro*, il quale è ancora più delicato di quello a pagliuzze, perchè quelle sono più leggiere.

La campana può essere sostituita con vantaggio da un globo o pallone di vetro, perchè vi è meno pericolo che le foglie tocchino le pareti.

Quando l'apparecchio è mantenuto secco, mediante un poco di calce viva sotto la campana, svela piccolissime cariche elettriche.

Un bastone di vetro fortemente elettrizzato fa divergere le foglie ad un metro e più di distanza.

Se il corpo di cui si vuole riconoscere l'elettricità è debolmente elettrizzato lo si può portare senza inconvenienti in contatto col bottone, e così la sua elettricità si comunica alle foglie, le quali divergono più o meno secondo la quantità di elettricità ricevuta.

Quando invece il corpo è fortemente elettrizzato allora, per non danneggiare le foglie, si adopera il così detto *piano di prova*, che è un dischetto di sostanza conduttrice applicato all'estremità di una sottile verghetta isolante di gomma lacca, o di ebanite, o di vetro inverniciato.

Si pone il piano di prova in contatto coi diversi punti del corpo di cui si vuole esplorare l'elettricità, poi lo si porta in contatto col bottone dell'elettroscopio. Dalla divergenza delle foglie si giudica la carica del luogo del corpo con cui si è messo in contatto il piano di prova.

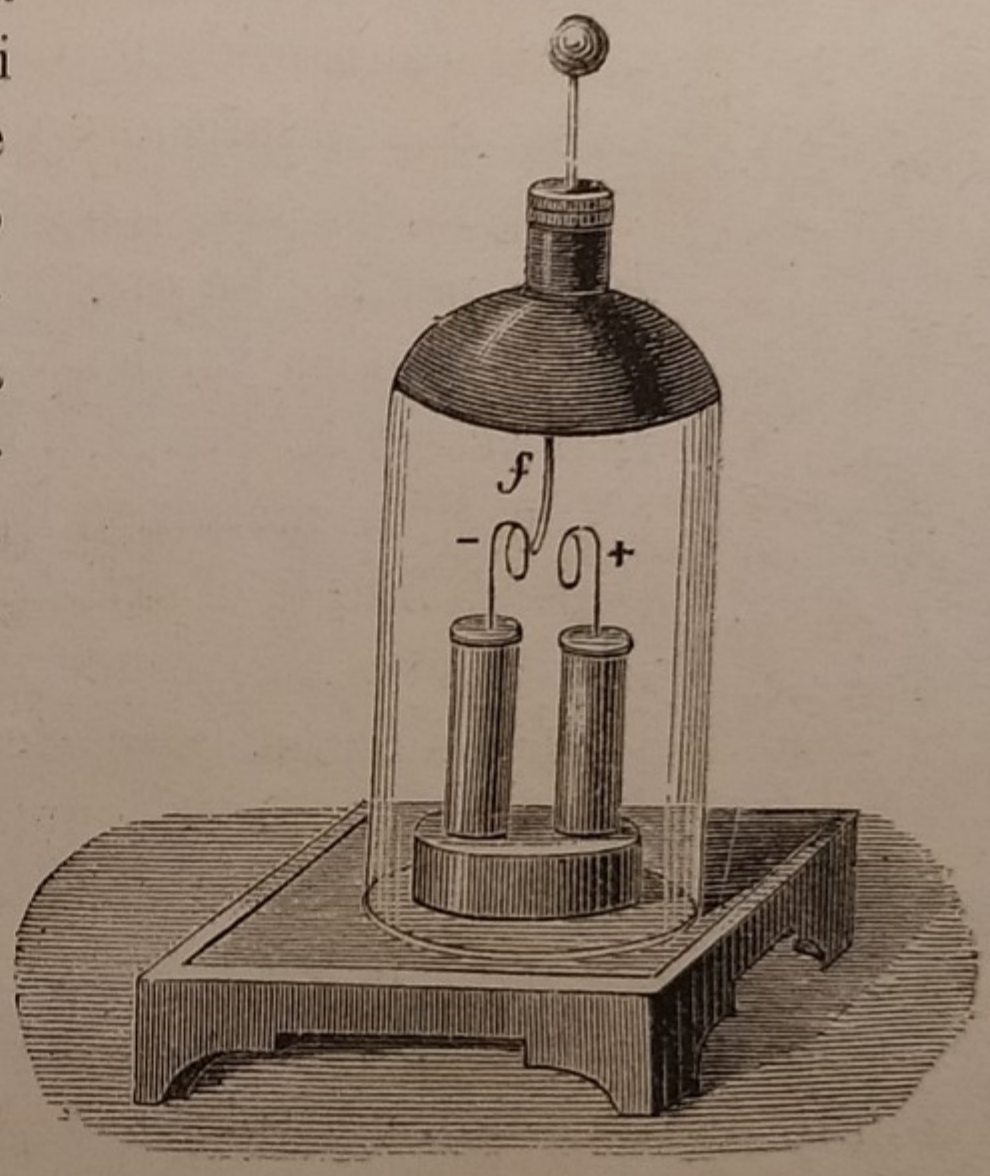


Fig. 159.

La specie dell'elettricità viene riconosciuta nel seguente modo: Si comunica all'elettroscopio, per esempio, elettricità +. Allora, se si accosta al medesimo un corpo elettrizzato +, la divergenza delle foglie cresce; perchè viene accresciuta la loro carica elettrica; invece se si accosta un corpo elettrizzato −, la divergenza delle foglie diminuisce, perchè diminuisce la loro elettricità.

4. L'elettroscopio di Bohnemberger (fig. 159) è costituito da una foglia d'oro unica appesa ad una verghetta metallica sostenuta da una campana di vetro, e terminata superiormente da una sfera o bottone. Questa foglia sta frammezzo a due laminette o dischetti di ottone, costantemente elettrizzati di elettricità con-

traria, perchè comunicano con due sorgenti di elettricità contrarie (due pile secche di Zamboni, § 71), contenute in due tubi verticali di vetro che si possono avvicinare od allontanare dalla foglia d'oro.

Se ora viene comunicata al bottone soprastante una piccolissima quantità di elettricità questa si partecipa alla foglia d'oro, la quale viene da uno dei dischi attratta e dall'altro respinta, perchè essi sono oppostamente elettrizzati, e risulta così un movimento della foglia; se essa si muove verso il dischetto + l'elettricità comunicata era —, e viceversa. Anzi, dalla lontananza dei dischetti e dalla velocità del movimento della foglia è anche possibile un giudizio sulla grandezza della carica elettrica.

5. Elettroscopio a quadrante. — Consiste in una pallottola di midollo di sambuco (fig. 160) appesa all'estremità inferiore di uno stecchetto di balena o di paglia, sospeso nel centro di un semicerchio graduato, portato da una colonnetta di legno o di metallo, che si colloca verticalmente sul corpo di cui si vuole riconoscere la carica elettrica, per es., sul *conduttore* o superficie metallica della macchina elettrica. Così il pendolino si elettrizza pel contatto colla colonna elettrizzata e diverge più o meno da quella secondo la grandezza della carica elettrica.

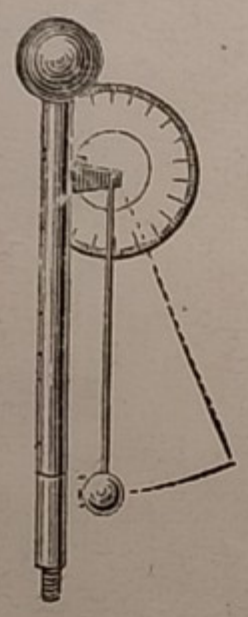


Fig. 160.

6. Dispersione. — Se si comunica elettricità ad un elettroscopio si osserva che la divergenza delle foglie decresce dapprima rapidamente e poi più lentamente.

Lo stesso si vede con un altro corpo conduttore qualunque, munito di pendolini, ed isolato.

Dunque: *i corpi elettrizzati, quantunque isolati, perdono sempre più o meno rapidamente la loro elettricità.*

Tale fenomeno chiamasi *dispersione della elettricità*. Essa è tanto più abbondante quanto maggiore è la carica elettrica, e quanto meno perfetto è l'isolamento del corpo.

La dispersione avviene perchè i sostegni non sono mai perfettamente isolanti e perchè l'elettricità si comunica all'aria.

La dispersione è più rapida nell'aria umida, non per il vapore acqueo trasparente, ma per quello che si condensa sui sostegni e forma sulla loro superficie un velo conduttore.

La quale condensazione avviene sovratutto sul vetro fatto con soda e potassa, che sono sostanze avide dell'umidità. Quindi tale vetro è da proscriversi negli apparecchi elettrici.

Per diminuire la dispersione pei sostegni di vetro si rivestono questi con una vernice di gomma lacca disciolta nell'alcool, sostanza meno igrofila del vetro. Anzi, ai sostegni isolanti di vetro si preferiscono oggidì quelli di ebanite, o caucciù indurito con solfo.

Conviene poi, in generale, asciugare sovente i sostegni isolanti con stoffe calde; rendere più asciutta l'atmosfera della camera mediante il riscaldamento, sovratutto ad aria calda, ed infine negli apparecchi chiusi, come gli elettroscopii, giova collocare sostanze assorbenti dell'umidità, siccome l'acido solforico concentrato, il cloruro di calcio, la calce viva.

Quindi si intende come le esperienze elettriche riescano male quando l'aria è umida. E tale diviene l'aria nelle sale ove si trovano molte persone, sovratutto dopo un prolungato soggiorno, durante il quale, colla espirazione, venne emessa nell'aria abbondante umidità.

Diminuisce anche l'isolamento dei corpi elettrizzati la polvere che ad essi aderisce, perchè ciascun granello di polvere agisce come una punta, e le punte, come vedremo, disperdono l'elettricità. Perciò conviene pure evitare e togliere il deposito di polvere sui corpi conduttori elettrizzati e sui loro sostegni isolanti.

§ 53. Leggi delle attrazioni e repulsioni elettriche.

1. L'elettricità è una quantità suscettiva di misura. — Prima di enunciare la legge relativa alla grandezza delle attrazioni e repulsioni elettriche importa notare un fatto che induce ad ammettere che l'elettricità è suscettibile di misura.

Se una sfera conduttrice isolata e scarica si porta a contatto con un'altra eguale ed elettrizzata, è razionale ammettere che l'elettricità di questa si distribuisca egualmente nelle due sfere, e perciò che dopo il contattoe la separazione ciascuna

possegga la metà della elettricità che possedeva prima la sfera elettrizzata. Il che si può anche manifestare sperimentalmente con un elettroscopio a foglie d'oro.

Dunque anche senza sapere che cosa sia l'elettricità si può affermare che essa è una quantità suscettiva di misura.

La quantità di elettricità che possiede un corpo in istato elettrico chiamasi la sua *carica elettrica*.

2. Legge della grandezza delle attrazioni e repulsioni elettriche. — Questa venne determinata dapprima da Coulomb (nel 1785) con numerose esperienze fatte principalmente con un apparecchio detto *bilancia di torsione*, con cui egli dimostrò che: *le attrazioni e repulsioni fra i corpi elettrizzati sono direttamente proporzionali alle loro quantità di elettricità ed inversamente proporzionali ai quadrati delle loro distanze.*

La sua esattezza più che dalle prove sperimentali, sempre imperfette ed approssimative, risulta dal fatto che le deduzioni matematiche che si fanno dalla medesima sono confermate dall'esperienza.

3. Formola che esprime la legge di Coulomb. — Rappresentando con q, q' le quantità di elettricità che agiscono l'una sull'altra,
» r la loro distanza,
» F la forza colla quale esse si respingono o si attraggono secondochè sono omonime o contrarie,
» c un coefficiente che dipende solamente dalle unità scelte per misurare le forze, le distanze e le quantità di elettricità,

la legge di Coulomb si esprime algebricamente colla seguente formola:

$$F = \pm c \frac{qq'}{r^2}.$$

Se le due quantità di elettricità qq' sono omonime (positive o negative) si deve dare alle medesime lo stesso segno, cosicchè il loro prodotto qq' risulta positivo, e quindi il valore di F è positivo. È il caso della repulsione. Se invece le due quantità di elettricità sono contrarie si deve dare alle medesime segno contrario, cosicchè il loro prodotto qq' risulta negativo, come pure il valore di F, e rappresenta il caso dell'attrazione.

4. La Bilancia di torsione di Coulomb è rappresentata dalla figura 161 A sinistra è disegnata la parte superiore in scala maggiore.

L'apparecchio è fondato su una delle leggi della elasticità di torsione, precedentemente stabilita da Coulomb stesso, e la quale è che: *la forza necessaria per torcere un filo è proporzionale all'angolo di torsione* (vol. I, pag. 148).

Consiste in una cassa cilindrica di vetro (AA) alta circa 3 *dm.* e di un diametro presso a poco eguale, sulla cui parete verticale vi è una listerella di carta (*aa*) graduata, cioè divisa in 360°. La cassa è coperta da un disco di vetro con un foro centrale e un altro laterale, per cui si può introdurre nell'interno una bacchetta di vetro (*f*), che porta una pallina (*g'*) di midollo di sambuco, indorata. Sul foro centrale si solleva un tubo di vetro (DD) lungo da 2 a 3 *dm.* e largo da 3 a 4 *cm.*, che può girare sul coperchio della cassa, e nel cui asse vi è un filo metallico sottile appeso superiormente, che scende fino al centro (*f*) della graduazione, ove regge il *bilanciere*, cioè una bacchettina orizzontale (*fg*) di gomma lacca o di vetro inverniciato, che porta ad un capo una pallottola (*g*) di midollo di sambuco indorata, ovvero un sottile dischetto di ottone, o di cartone indorato, mentre all'altro capo ha un contrappeso.

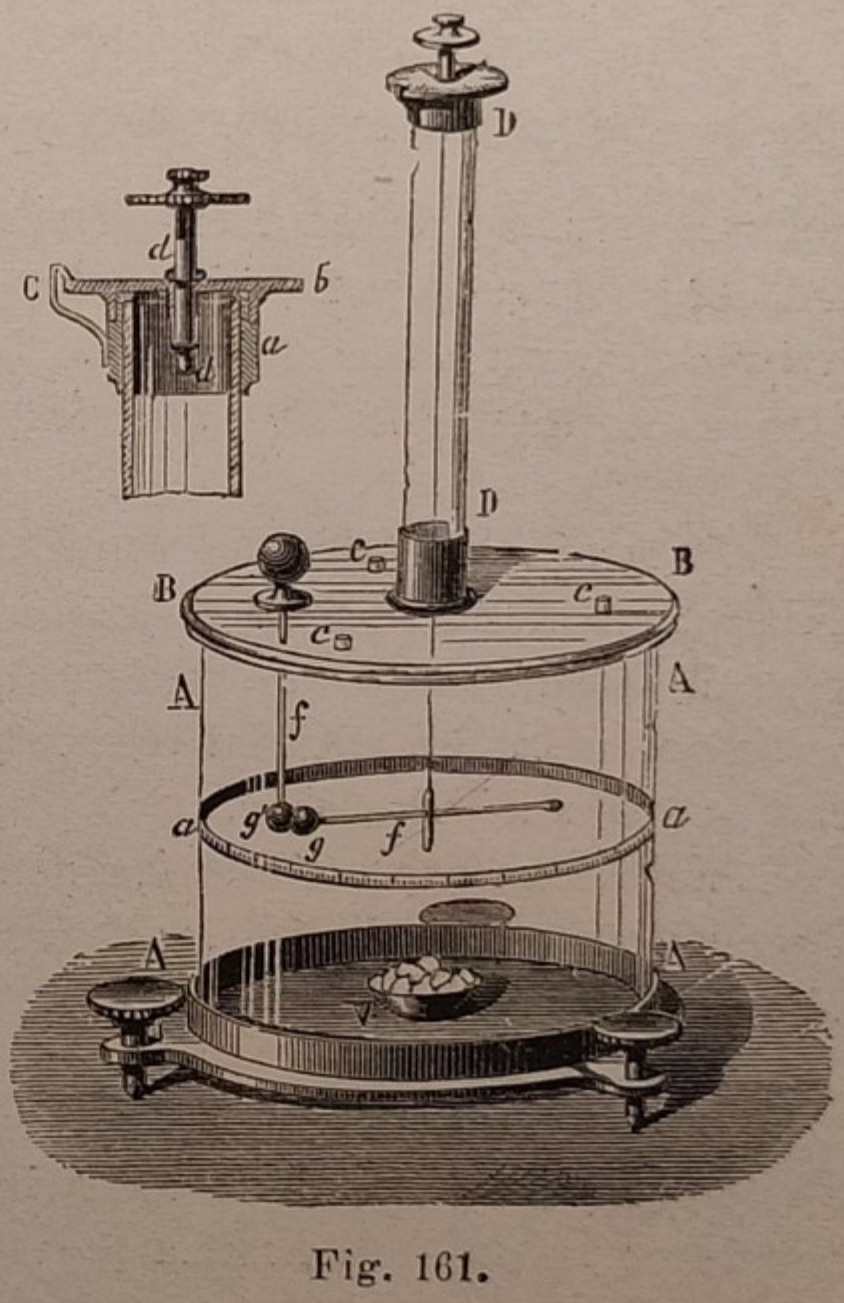


Fig. 161.

Il filo è appeso alla sommità del tubo, al così detto *micrometro*, costituito da due parti, cioè da un anello metallico (*a*) fisso al tubo con un braccio laterale (C) su cui è tracciata una riga verticale, e da un disco metallico (*b*), forato nel suo centro per lasciare passaggio al filo, e munito nel suo contorno di una graduazione in 360°, il quale può girare sull'anello sottostante, e porta al di sopra un sistema di sospensione del filo.

Per rendere asciutta l'aria della cassa si pone al fondo della medesima un recipiente contenente calce viva, o meglio cloruro di calcio, che vi si lascia per alcuni giorni prima di sperimentare.

Mediante le viti di livello di cui è munita la cassa la si dispone in modo che la direzione del filo di sospensione passi pel centro della sua graduazione. Indi si dispone il coperchio della stessa per modo che la pallina fissa (*g'*) si trovi in faccia dello zero della detta graduazione, e si fa girare il disco graduato (*b*) in guisa che lo zero del medesimo corrisponda alla riga segnata sul braccio (C). Infine si toglie la pallina fissa (*g'*) e si fa girare il tubo (DD) sul coperchio, in modo da portare il centro della pallina mobile in faccia allo zero (*a*) della graduazione della cassa, senza che il filo di sospensione sia torto. Allora si rimette la pallina fissa al posto preciso ove il filo manterrebbe senza torsione la pallina mobile. Così le due palline vengono ad essere in contatto quando non sono elettrizzate.

Se poi si elettrizzano allora la pallina (*g*) si allontana fermandosi dopo

qualche oscillazione in una nuova posizione di equilibrio determinata dalla condizione che il momento di rotazione della forza elastica del filo sia uguale a quello della repulsione elettrica. Il primo momento è proporzionale all'angolo di torsione che si misura colla graduazione tracciata sul cilindro di vetro; e dal valore di questo angolo si può calcolare la distanza fra le due palline.

Con tale istrumento Coulomb (cambiando la distanza fra le palline, o le loro cariche elettriche) è riuscito a dimostrare appunto le leggi sopra citate e che portano il suo nome.

5. Misura assoluta delle cariche elettriche. — Si misurano le quantità di elettricità mediante le grandezze delle forze attrattive e repulsive che agiscono fra i corpi elettrizzati secondo la legge di Coulomb. Ora la formola che esprime detta legge si semplifica e diviene $f = \pm \frac{qq'}{r^2}$ facendo in essa $c = 1$, e perciò si richiede che sia $q = q' = 1$, $r = 1$, $f = 1$, cioè che si prenda per *unità delle quantità di elettricità, o delle cariche elettriche, quella che, concentrata in un punto, agisce nell'aria sopra un altro punto avente la stessa carica, posto all'unità di distanza, con l'unità di forza.*

E siccome nel sistema assoluto di misure (C, G, S, vol. I, p. 117) le forze si misurano in dine e l'unità lineare è il centimetro, perciò in questo sistema l'*unità assoluta elettrostatica di carica elettrica è quella che, agendo nell'aria, sopra una carica eguale posta alla distanza di* 1 cm. *la respinge con la forza di una dine.*

L'unità teorica così definita non ha ricevuto alcun nome. Invece venne denominata *coulomb* l'unità adoperata in pratica, la quale corrisponde ad una quantità di elettricità 3×10^9 volte maggiore di quella teorica.

Perciò si ha:

$$1 \text{ coulomb} = 3 \times 10^9 \text{ unità assolute elettrostatiche di carica.}$$

Il coulomb è una delle unità importanti del sistema pratico di misure assolute; la sua milionesima parte si chiama *microcoulomb.*

§ 54. L'elettricità alla superficie dei conduttori.

1. Esperienze. — a) *Bisaccia di Faraday.* — La figura 162 rappresensa una bisaccia conica di mussolina o tela di lino (buon conduttore, pag. 275), applicata all'orlo di un cerchio metallico sostenuto da una colonna isolante, e al cui vertice sono attaccate due funicelle di seta, mediante le quali la si può rivoltare senza toccarla colle mani. La si elettrizza toccandola con un bastone elettrizzato, indi la si tocca all'esterno con un piano di prova (pag. 281), e, mediante un pendolino, o un elettroscopio a foglie

d'oro, si riconosce che il piano di prova è elettrizzato. Invece scaricando il piano di prova, e poi toccando col medesimo la superficie interna si trova che non acquista elettricità, od almeno in grado assai minore. Infine, ripetendo l'esperienza dopo avere

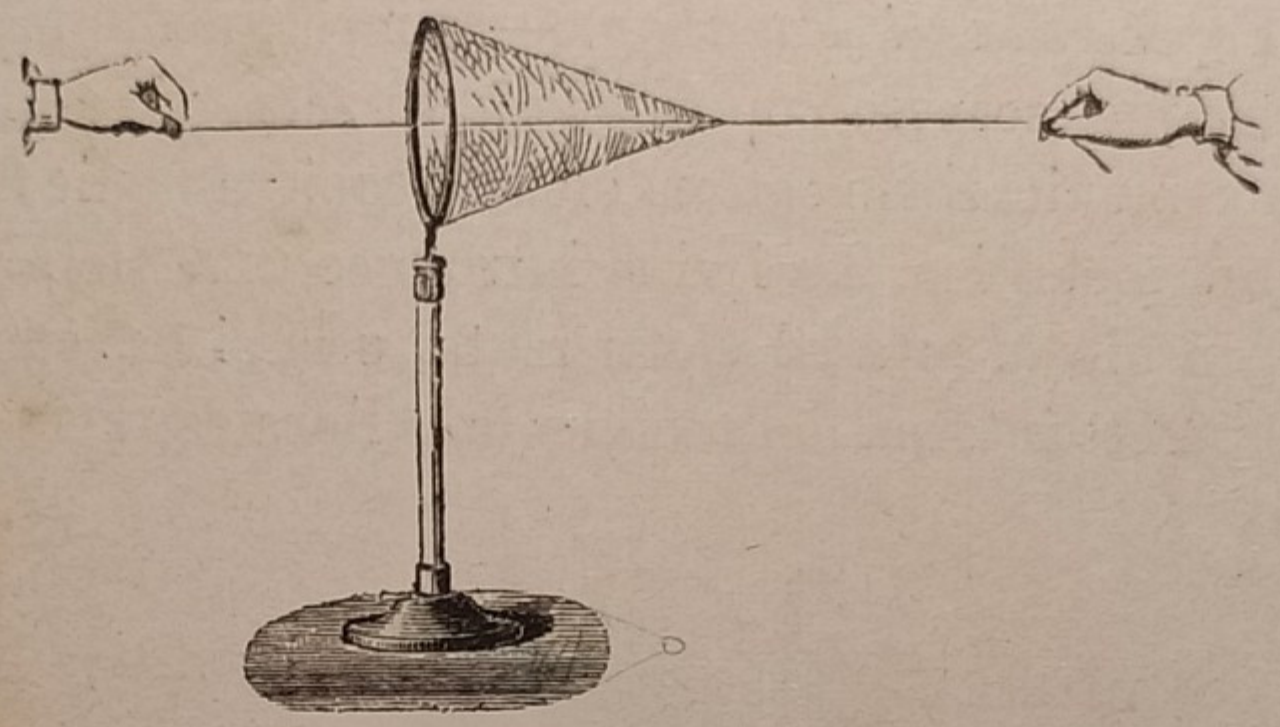


Fig. 162.

rovesciata la bisaccia, permodochè la superficie interna sia divenuta esterna, si verifica lo stesso risultato.

Dunque l'elettricità si manifesta solo sulla superficie esterna della bisaccia che è buona conduttrice.

b) *Pozzo elettrico di Beccaria.* — Si ottiene lo stesso risultato con una sfera cava di ottone, isolata su di una colonna di vetro (fig. 163), avente nella sua parte superiore un'apertura circolare con orlo grosso. Dopo averla elettrizzata col contatto di un corpo elettrizzato, la si tocca successivamente all'interno ed all'esterno con un piano di prova. Accostando poi questo ad un pendolino, o ad un elettroscopio, si verifica che pel contatto colla superficie esterna, esso acquista elettricità, ma nessuna, o debolissima, pel contatto colla superficie interna.

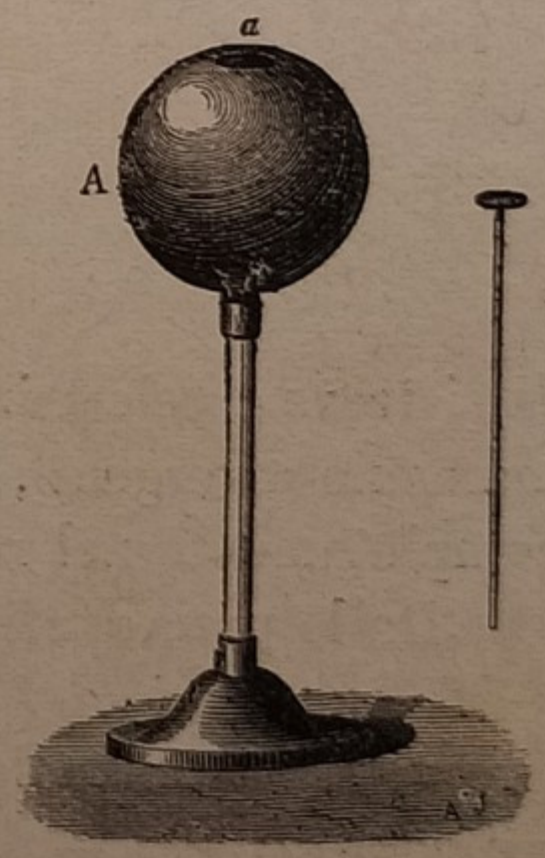


Fig. 163.

Prove esperimentali più perfette sono le seguenti:

c) *Esperienza degli emisferi cavi* (Biot). — Si prende una sfera metallica bene isolata. Perciò invece di sostenerla con una colonna di vetro (come rappresenta la figura 164) è meglio

sospenderla con una funicella di seta. La si elettrizza energicamente, e poi la si ricopre con due emisferi metallici cavi muniti di manubrii isolanti. Indi si allontanano questi, e si riconosce, mediante elettroscopii, che essi portano via tutta la elettricità della sfera.

d) *Esperienza di Faraday.* — Un recipiente metallico di forma qualunque, sospeso con funicelle di seta, viene messo all'esterno in comunicazione con un elettroscopio a foglie d'oro, mediante un filo metallico. Indi vi si introduce una sfera metallica sospesa ad un filo di seta ed elettrizzata, e la si fa venire in contatto colla parete interna del recipiente. Allora estraendo la sfera

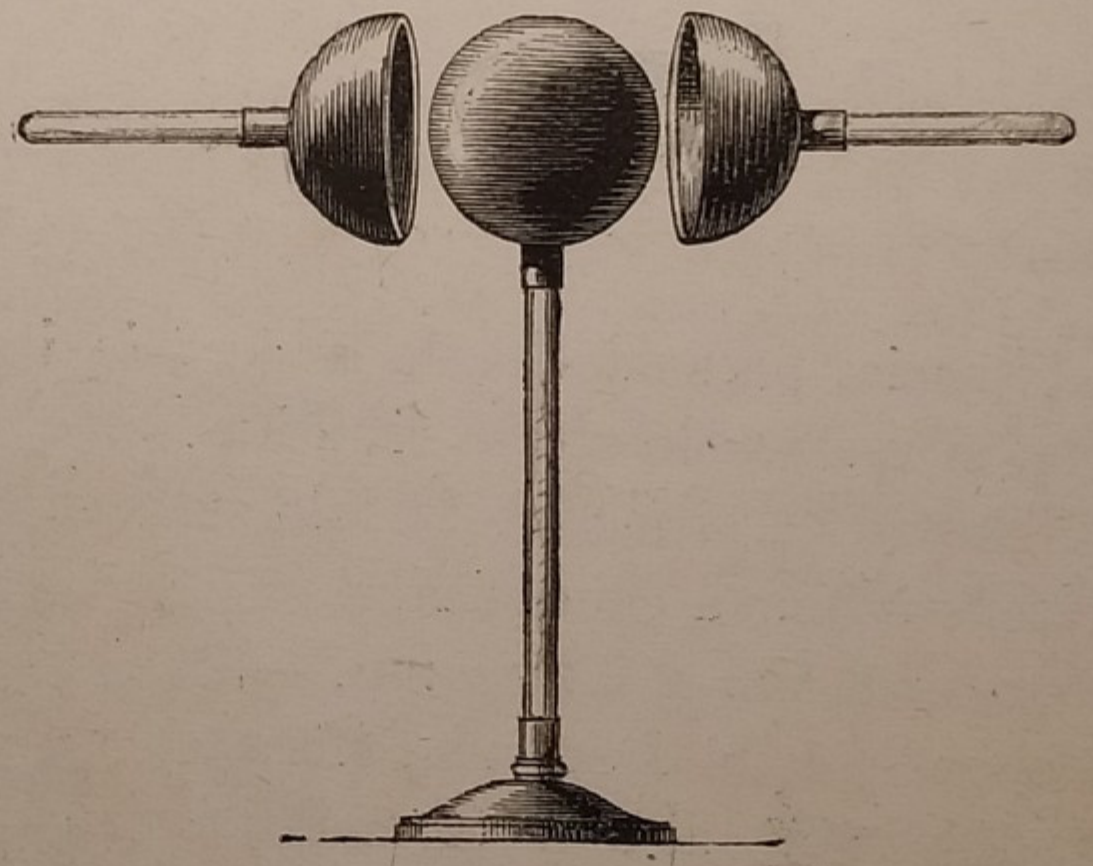


Fig. 164.

la si trova diselettrizzata, mentre le foglie dell'elettroscopio rimangono divergenti, il che prova che l'elettricità della sfera passò completamente nel recipiente esterno.

Dalle precedenti esperienze risulta che *l'elettricità si porta sulla superficie dei conduttori.*

2. Risultante delle azioni elettriche sui punti interni di un conduttore. — Venne inoltre accertato colla massima esattezza che: *l'elettricità distribuita sopra un conduttore non esercita nessuna azione sui punti interni del medesimo;* o, più esattamente, che *la risultante delle azioni che quella elettricità esercita sopra un punto interno è nulla.*

Faraday costruì a tal fine una grande gabbia di legno isolata sopra piedi di vetro, la coprì di stagnola, e vi si collocò dentro

con delicati elettroscopii, uno dei quali a foglie d'oro. Fece comunicare il bottone di questo elettroscopio con la parete, e vide che le foglie non divergevano punto per quanto venisse elettrizzata la superficie metallica esterna della gabbia.

Questa importante esperienza si può eseguire più semplicemente collocando un elettroscopio a foglie d'oro su di una lastra isolante di vetro coperta con foglia di stagnola e poi ricoprendo l'elettroscopio con un copripiatti di rete metallica che sia inferiormente in contatto colla stagnola e superiormente col bottone dell'elettroscopio. Allora toccando esteriormente il copripiatto con un bastone di vetro elettrizzato ed anche ponendolo in comunicazione con una macchina elettrica non si osserva alcuna divergenza delle foglie.

Invece del copripiatto si può circondare l'elettroscopio con un cilindro di reticella metallica coperto superiormente con un disco della stessa sostanza, oppure anche con un disco metallico continuo.

Se poi si copre l'elettroscopio con una campana di vetro allora avvicinando a questa un bastone elettrizzato le foglie divergono.

Il che prova che le azioni elettriche si manifestano nell'interno dei corpi isolanti.

Infine la prima esperienza, oltre al dimostrare il fatto enunciato, insegna che per preservare dalle azioni elettrostatiche esterne un corpo qualunque conviene avvilupparlo con una rete metallica, la quale dicesi perciò uno *schermo elettrico*.

Inoltre si deduce che il più efficace modo di proteggere gli edifizii dal fulmine consiste nell'avvilupparli con un reticolato metallico comunicante col suolo.

3. La distribuzione elettrica superficiale varia colla forma dei conduttori. — Se si comunica elettricità ad una sfera metallica isolata, e la si tocca in un punto con un piano di prova, portandolo poi in contatto col bottone di un elettroscopio a foglie d'oro, queste assumono una divergenza di un dato numero di gradi. Quindi, ripetendo l'esperienza per altri punti, si trova che la divergenza è sempre sensibilmente eguale. Naturalmente col ripetere più volte l'esperimento la divergenza delle foglie diminuisce alquanto, perchè ad ogni contatto del piano di prova colla sfera si porta via una parte dell'elettricità di questa.

Invece, se si fa l'esperienza con un conduttore non sferico, per esempio un elissoide, si vede che la divergenza delle foglie è minima quando si toccano i luoghi di minima curvatura, cioè i capi dell'asse minore, massima quando si toccano i luoghi di massima curvatura, cioè i capi dell'asse maggiore, intermedia quando si toccano i luoghi di curvatura media.

In queste esperienze il corpo elettrizzato deve essere sottratto all'azione perturbatrice de' corpi vicini.

Dunque: *mentre l'elettricità si distribuisce uniformemente sulla superficie di un conduttore a curvatura uniforme, cioè sferica, essa invece si accumula sulle parti più ricurve della superficie di un conduttore a curvatura variabile.*

4. Densità elettrica. — Nel caso di una distribuzione uniforme, quale avviene su una superficie sferica, si chiama *densità elettrica* la quantità di elettricità che vi è su ogni unità di superficie del corpo elettrizzato. Essa è data dal rapporto della quantità totale di elettricità all'area della superficie.

Mentre *su una superficie sferica conduttrice la densità è uniforme*, è invece variabile sulle superfici non sferiche, sulle quali cresce col crescere della curvatura. Per es: *La densità nei punti estremi degli assi di un elissoide è proporzionale alla lunghezza dei medesimi.*

In questi casi il rapporto della quantità di elettricità alla superficie esprime la *densità media.*

5. Tensione dell'elettricità. — Per la repulsione che esiste fra le cariche elettriche omonime l'elettricità di ciascun punto della superficie d'un conduttore è spinta verso l'esterno da quella che si trova in tutti gli altri punti da una forza perpendicolare alla superficie del medesimo, e perciò essa esercita una pressione contro l'isolatore circostante che impedisce la sua ulteriore propagazione.

La forza che spinge l'elettricità di ciascun punto della superficie di un conduttore elettrizzato ad abbandonare la superficie stessa per passare nel mezzo coibente che lo avvolge chiamasi *tensione elettrica.*

La teoria dimostra che la *tensione in ciascun punto è proporzionale al quadrato della densità elettrica*, e perciò è maggiore ove la superficie è più curva ed è grandissima sulle punte.

Se, malgrado la tensione, l'elettricità non abbandona tosto i conduttori su cui si trova è per la resistenza che l'aria ambiente, o altro isolante in contatto col conduttore, oppone alla sua propagazione. Ma quando la tensione arriva a vincere tale resistenza l'elettricità abbandona il conduttore.

A parità di condizioni la maggiore o minore tensione elettrica è manifestata dalla maggiore o minore divergenza dei pendolini applicati ai conduttori.

6. Potere delle punte. — Se ad un corpo conduttore, munito di uno o più pendolini, si comunica elettricità, si vede che quando è munito di punta i pendolini divergono di meno che quando ne è privo. L'esperienza riesce assai manifesta ponendo l'elettroscopio a quadrante (pag. 282) sul conduttore della macchina elettrica, munito o no di punta.

Una fiamma comunicante col conduttore di una macchina elettrica agisce anche come una punta.

Dalla precedente esperienza risulta che *le punte hanno la proprietà di lasciare disperdere l'elettricità del corpo su cui sono applicate.* Questa propietà si denomina *potere delle punte.*

7. Soffio elettrico. — Se si accosta il dorso della mano alla punta applicata al conduttore della macchina elettrica in azione si sente una corrente d'aria che spira dalla punta, e se questa è piegata orizzontalmente (fig. 165), accostando alla medesima una fiamma, la si vede piegarsi nella direzione della punta stessa.

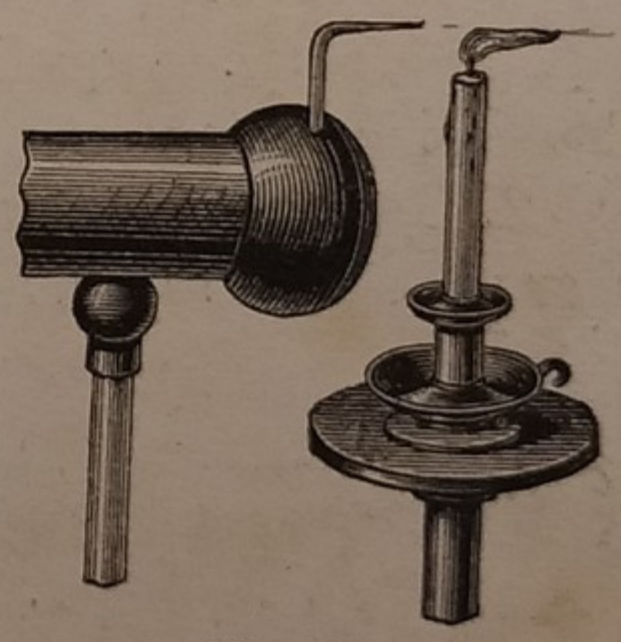


Fig. 165.

Dunque: *sulle punte applicate ai conduttori elettrizzati si stabilisce una corrente d'aria spirante dalle medesime.*

Il soffio elettrico si interpreta osservando che sulle punte la densità e tensione elettrica sono massime, perciò le molecole aeree circostanti alle punte vengono da queste più energicamente attratte, elettrizzate e respinte nella direzione delle medesime.

Siccome poi ogni particella aerea porta con sè una piccola parte della elettricità della punta e del conduttore su cui questa è applicata, così esso perde la sua elettricità.

Per tale proprietà delle punte di lasciare disperdere la elettricità i corpi conduttori, sui quali si vuole conservare questa, non debbono presentare punte, nè spigoli sottili, ma debbono essere tondeggianti.

§ 55. Induzione elettrostatica.

1. Fenomeno e definizioni relative. — Si è già notato (pag. 281) che se il corpo che si accosta al bottone dell'elettroscopio a foglie d'oro è alquanto fortemente elettrizzato si vedono quelle divergere a distanza.

Ciò avviene perchè *un corpo elettrizzato sviluppa le due elettricità nei corpi circostanti, e precisamente l'elettricità contraria nella parte più vicina, e l'omonima nella parte più lontana degli stessi.*

Per es., se si presenta al bottone dell'elettroscopio un bastone di ceralacca (A) elettrizzato —, il bottone vicino diviene elettrizzato +, e le foglie, lontane dalla ceralacca, divengono elettrizzate —.

Tale fenomeno si dice *elettrizzazione per induzione o per influenza*. Il corpo elettrizzato che esercita l'induzione denominasi *inducente*, e quello che viene elettrizzato per induzione chiamasi *indotto*.

2. Prove sperimentali con un cilindro metallico. — *Per provare che nella parte vicina all'induttore si sviluppa l'elettricità contraria e nella parte lontana l'elettricità omonima*, si può mettere un cilindro isolato di ottone (AB, fig. 166) munito di pendolini nella sua lunghezza, in vicinanza di una sfera (C), essa pure isolata, a cui si comunica elettricità, o con un bastone di vetro, o mettendola in comunicazione con una macchina elettrica in azione. Allora si vedono i pendolini divergere, e che la divergenza è massima verso i due capi del cilindro,

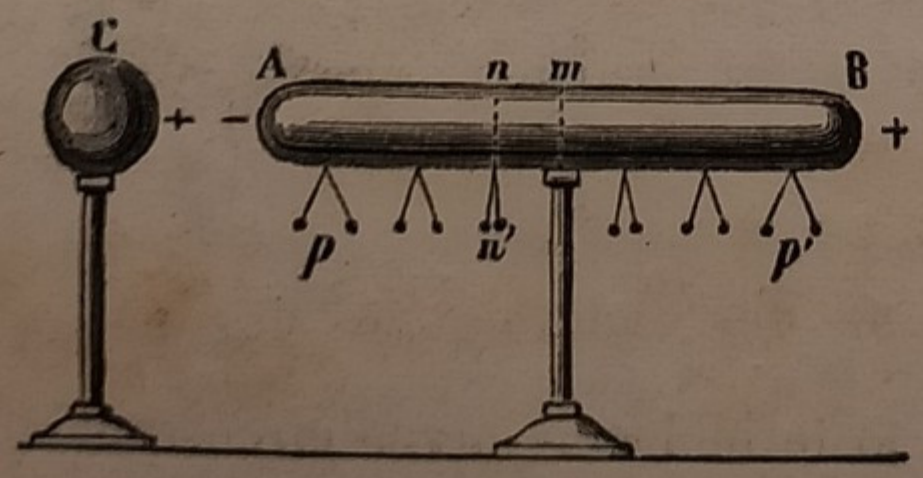


Fig. 166.

e va diminuendo verso una sezione (n), la quale non è precisamente nel mezzo (m) del cilindro, ma è nella metà di questa più vicina all'inducente. Tale sezione, in cui la divergenza è nulla, denominasi *linea neutra*.

Infine, se si accosta un bastone di vetro elettrizzato + ai pendolini collocati nella parte (B) più lontana dalla sfera si osserva che sono respinti, mentre i pendolini sospesi nella parte (A) del cilindro più vicina alla sfera sono respinti da un bastone di ceralacca elettrizzato —.

3. Prove sperimentali mediante due elettroscopi a foglie d'oro. — Per le esperienze dell'induzione elettrostatica servono anche meglio dei detti apparecchi, sovratutto nell'ambiente facilmente umido di una scuola, gli elettroscopii a foglie d'oro, i quali, nella loro verghetta metallica isolata, cui sono appese inferiormente due foglie d'oro, presentano un cilindro metallico bene isolato e munito inferiormente di pendolini.

Se poi si collocano alla distanza di 30 a 40 *cm.* due elettroscopii a foglie d'oro, e si mettono in comunicazione metallica i due bottoni mediante una verghetta di ottone che si tiene con manubrio isolante, si ha un corpo conduttore isolato, munito di pendolini ai suoi capi.

Ora, se al sistema conduttore si avvicina da un lato un bastone di vetro elettrizzato +, si vedono divergere le foglie di ambi gli elettroscopii, e allontanandolo, esse ricadono. Ma se prima di allontanare il bastone di vetro elettrizzato si allontana la verghetta che metteva in comunicazione i due elettroscopii, si vede che la divergenza delle foglie di entrambi persiste dopo l'allontanamento del bastone di vetro, perchè rimangono nei medesimi isolate le due elettricità sviluppate per influenza.

Quindi, se si accosta al bottone dell'elettroscopio che era vicino al bastone di vetro, questo stesso corpo, si vede che la divergenza delle foglie diminuisce, il che prova che la loro elettricità è contraria a quella del vetro (pag. 281), mentre, accostando lo stesso bastone al bottone dell'elettroscopio che era lontano, cresce la divergenza delle sue foglie.

Dunque le foglie dell'elettroscopio vicino al corpo inducente positivo sono cariche di elettricità negativa, ed inversamente.

4. Valore e proprietà dell'elettricità indotta. — Le due cariche opposte destate per induzione sono eguali in valore assoluto, perchè se si allontana l'induttore l'indotto ritorna nello stato naturale, cioè le due cariche si neutralizzano.

Il valore assoluto delle due cariche indotte è in generale inferiore a quello della carica inducente, salvo il caso in cui l'indotto circondi completamente l'inducente.

Infine l'elettricità indotta possiede tutte le proprietà dell'inducente, ed è capace di agire per induzione sopra un conduttore isolato, questo sopra un altro, e così di seguito; però le induzioni successive vanno indebolendosi colla distanza.

5. Comunicazione del corpo indotto col suolo. — Se, mentre il corpo indotto è sotto l'induzione del corpo elettrizzato, si pone un punto qualunque della sua superficie in comunicazione col suolo, si disperde l'elettricità omonima, o respinta, ed interrompendo la comunicazione del corpo indotto col suolo mentre è sotto l'influenza, e poi allontanando o scaricando l'induttore, il il corpo indotto rimane elettrizzato con elettricità contraria all'inducente.

Il che si può facilmente provare o mediante il cilindro o mediante l'elettroscopio a foglie d'oro.

Inoltre si osserva in questo caso un aumento della divergenza dei pendolini applicati all'indotto, il che dimostra che in questo caso la carica elettrica contraria è maggiore di quella che aveva l'indotto quando era isolato.

Noi abbiamo perciò un terzo modo di elettrizzare un corpo, oltre lo strofinio e la comunicazione, cioè la induzione od influenza, ma con elettricità contraria a quella di un corpo elettrizzato.

6. Effetto di una punta applicata al corpo sottoposto all'induzione. — Se si applica una punta al bottone di un elettroscopio e poi si accosta al medesimo un bastone di vetro elettrizzato +, coll'allontanamento di questo le foglie rimangono divergenti, perchè l'elettricità — sviluppata dal corpo elettrizzato + nella punta vicina si è dispersa.

Un'esperienza analoga si può fare con un bastone di ceralacca elettrizzato — .

Dunque: *se si applica una punta nella parte dell'indotto vicina all'inducente si disperde l'indotta contraria, e rimane poi nell'indotto l'omonima.*

§ 56. Nozioni sperimentali intorno al concetto del potenziale elettrico.

1. Analogia fra i fenomeni idraulici e i fenomeni elettrici. — L'equilibrio, come pure il movimento della elettricità nei corpi, ha molta analogia coll'equilibrio e il movimento dei liquidi. Ognuno sa che quando si mettono inferiormente in comunicazione fra loro due recipienti, eguali o no, contenenti acqua, se il livello di questa è eguale nei medesimi, è pure eguale la pressione che ciascuna colonna liquida esercita verso l'altra, e perciò non vi è movimento del liquido da un recipiente all'altro; ma se in uno dei recipienti il livello del liquido è più elevato che nell'altro, è maggiore la pressione che esercita la colonna liquida del primo contro quella del secondo, e perciò avviene movimento del liquido dal recipiente in cui il livello è più elevato all'altro in cui è più basso, e tale movimento continua finchè i due liquidi non hanno lo stesso livello.

Un fenomeno analogo avviene per l'elettricità. Se ai bottoni di due elettroscopii eguali si comunica eguale quantità di elettricità, in guisa che la tensione di questa, manifestata dalla divergenza delle foglie, sia eguale, mettendoli in comunicazione, mediante un filo metallico arrotondato ai due capi e sostenuto nel suo punto di mezzo con un manubrio isolante, non avviene alcuna variazione nella divergenza delle foglie (fatta astrazione della piccolissima variazione dovuta alla elettricità che i due elettroscopii comunicano egualmente al filo metallico), il che dimostra non esservi passaggio di elettricità da un elettroscopio all'altro. Se invece si comunicano ai due elettroscopii quantità di elettricità tali che la tensione nei medesimi, indicata dalla divergenza delle foglie, sia diseguale, allora, mettendoli in comunicazione come prima, si vede che la divergenza delle foglie cresce nell'elettroscopio in cui essa era minore e diminuisce in quello in cui era maggiore, fino a divenire eguale, evidentemente perchè vi è passaggio di elettricità dall'elettroscopio in cui è maggiore la tensione elettrica all'altro in cui è minore, fenomeno analogo a quello che avviene nei liquidi per la differenza di livello.

2. Concetto sperimentale del potenziale elettrico. — Quando due conduttori elettrizzati messi in comunicazione con un filo conduttore non si scambiano elettricità si dice che *hanno lo stesso potenziale o livello elettrico;* se invece uno di essi fa passare elettricità positiva nell'altro si dice che *quello ha un potenziale o livello elettrico più elevato di questo.*

Pertanto *il potenziale elettrico*, considerato sperimentalmente, si può definire: *la condizione della elettricità corrispondente all'altezza del livello dell'acqua.* Come la differenza di livello dei liquidi dà luogo ad una differenza di pressione per cui essi acquistano attitudine a muoversi vincendo resistenze, così la differenza di livello elettrico dei corpi elettrizzati dà

luogo ad una tendenza dell'elettricità a muoversi, vincendo resistenze, e perciò ad una energia potenziale elettrica.

3. Concetto matematico del potenziale elettrico. — Come un corpo collocato nella sfera di azione o campo della gravità terrestre acquista una energia potenziale che dipende dalla sua massa e dalla sua altezza (vol. I, pag. 121) così un punto elettrizzato collocato in un campo elettrostatico acquista una energia potenziale elettrica che dipende dalla sua carica elettrica e dalla sua distanza dai punti elettrizzati che producono il campo.

Nella teoria matematica dell'elettricità si dice *potenziale elettrico*, in un punto di un campo elettrostatico, *il lavoro eseguito dalle forze elettriche del campo nel muovere l'unità di elettricità positiva da quel punto fino alla distanza infinita, ove le dette forze divengono nulle.*

4. Espressione algebrica del potenziale elettrico. — Partendo dalla legge di Coulomb (pag. 284) si dimostra che:

indicando con q_1, q_2, q_3... le quantità di elettricità positiva o negativa che si trovano nei vari punti determinanti il campo,

con r_1, r_2, r_3... le loro distanze da un punto P del campo,

con V_p il potenziale nel punto P,

il valore di questo è dato dall'eguaglianza:

$$V_p = \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \ldots\ldots$$

La differenza di potenziale in due punti P, Q del campo esprime il lavoro delle forze elettriche nel trasporto dell' unità di elettricità positiva da P a Q.

5. Il campo elettrostatico. — La forza che emana da un corpo elettrizzato tende a muovere non solo l'elettricità che si trova alla superficie del medesimo, ma anche quella esistente tutto all'intorno fino ad una distanza che teoricamente sarebbe infinita, perchè, secondo la legge di Coulomb, agisce in ragione inversa del quadrato della distanza, e solo a distanza infinita detta forza è infinitamente piccola.

Infatti, se attorno ad un corpo elettrizzato + si pongono dei corpi conduttori isolati, essi divengono tutti elettrizzati, e l'elettricità + si muove nei medesimi dai punti più vicini al corpo elettrizzato che divengono — a quelli più lontani che divengono +, e se tali corpi si mettono in comunicazione conduttrice col suolo, l'elettricità + fluisce nel suolo.

Inversamente avviene attorno ad un corpo elettrizzato —.

Lo spazio nel quale agisce la forza attrattiva o repulsiva che emana da un corpo elettrizzato su di una piccola quantità di elettricità concentrata in un punto, la quale non alteri sensibilmente le condizioni del corpo elettrizzato, chiamasi il *campo elettrostatico* del detto corpo.

Dunque, la forza che emana da un corpo elettrizzato ha l'attitudine a muovere l'elettricità che si trova in tutti i punti del suo campo, cioè in tutti i punti di questo fino al limite di esso, ove il potenziale elettrico diviene nullo.

6. Potenziale elettrico zero. — A tutto rigore il potenziale nullo non si trova che a distanza infinita da ogni corpo elettrizzato, perchè solo ivi la forza elettrica diviene infinitamente piccola o nulla. Ma siccome i corpi posti in comunicazione col suolo perdono lo stato elettrico e quindi acquistano un livello elettrico zero, così in pratica si assume come potenziale elettrico zero quello del globo terrestre, invece di quello dei punti a distanza infinita dal corpo elettrizzato, alla stessa guisa che si prende per zero relativo delle altezze e depressioni della superficie terrestre il livello del mare, e come zero relativo delle temperature quella della fusione del ghiaccio.

Il potenziale di un corpo è positivo quando è maggiore di quello della terra ed è negativo quando è minore di quello della terra.

Nel 1° caso il corpo messo in comunicazione col suolo si scarica mandando elettricità + in questo; invece nel 2° si scarica ricevendo elettricità + dal suolo.

I potenziali misurati prendendo il potenziale della terra come origine della scala si dicono *potenziali relativi*. Essi non sono che le *differenze di potenziale fra i conduttori stessi e la terra*.

7. Superficie equipotenziale. — Il luogo geometrico di tutti i punti di eguale potenziale si dice *superficie equipotenziale*.

Quando l'elettricità è in equilibrio su un conduttore tutti i punti di questo debbono essere allo stesso potenziale, perchè, se in qualche punto il potenziale è più elevato che in un altro, avviene passaggio di elettricità dal primo al secondo, finchè sia stabilita l'eguaglianza del potenziale.

Per es., quando l'elettricità è in equilibrio su di un elissoide isolato non vi è alcun movimento di essa sul medesimo, e quindi il potenziale è uguale in tutti i punti, quantunque la densità e tensione elettrica non siano eguali.

Il campo elettrico si deve pertanto considerare come costituito da una serie di superficii equipotenziali, cioè di egual livello elettrico, il quale però varia da una superficie all'altra colla distanza.

Attorno ad un corpo elettrizzato sferico le superfici equipotenziali sono sferiche; invece attorno ad un corpo elettrizzato non sferico le superfici equipotenziali non sono sferiche.

8. Linee di forza. — Le linee secondo le quali agisce la risultante delle forze elettriche che emanano dai diversi punti di un corpo elettrizzato si dicono *linee di forza*. Queste sono in ciascun punto perpendicolari alle superfici equipotenziali, a quel modo che la superficie di livello di un liquido in equilibrio è in ciascun punto perpendicolare alla direzione della risultante delle forze che agiscono sulle molecole liquide (vol. I, pag. 161).

Per analogia coi liquidi le superfici equipotenziali chiamansi anche *superfici di livello*.

Attorno ad un corpo elettrizzato sferico le linee di forza sono linee rette che hanno le direzioni dei raggi. Invece attorno ad un corpo elettrizzato non sferico le superfici equipotenziali non essendo sferiche le linee di forza sono curve.

9. Capacità elettrica. — A quel modo che per portare alla stessa altezza il livello dell'acqua in due recipienti eguali si richiede la stessa quantità di liquido, ed invece si richiede una maggiore quantità di liquido ove maggiore è la sezione, così per portare allo stesso potenziale due corpi conduttori isolati eguali si richieggono quantità eguali di elettricità, ed invece per portare allo stesso potenziale due corpi conduttori disuguali si deve comunicare al maggiore una quantità maggiore di elettricità.

Quindi si può esprimere la *capacità elettrica* di un conduttore colla *quantità di elettricità che si richiede per elevarne il potenziale di un'unità.*

Perciò, se si richiedono Q unità di elettricità per elevare il potenziale di un conduttore da zero a V, la sua capacità C è espressa dall'eguaglianza:

$$C = \frac{Q}{V}.$$

La capacità di una sfera conduttrice è misurata dallo stesso numero che misura il suo raggio. Difatti, se si comunica ad una sfera di raggio R una carica Q, questa distribuendosi uniformemente sulla sua superficie produce nel centro e quindi in ogni punto della sfera il potenziale

$$V = \frac{Q}{R},$$

da cui si ricava $Q = VR$, e sostituendo questo valore nella precedente eguaglianza, risulta

$$C = \frac{VR}{V} = R.$$

Perciò, comunicando la stessa quantità di elettricità a due sfere diseguali, la minore acquista maggior potenziale avendo minore capacità.

10. Forza elettromotrice. — Come la differenza di livello dell'acqua in due punti produce, o tende a produrre, il movimento del liquido dall'uno all'altro, così la differenza di potenziale fra due punti produce, o tende a produrre, il movimento della elettricità dall'uno all'altro. Tale differenza agisce dunque *in modo analogo* a quello con cui agirebbe una *forza motrice*, la quale spingesse l'elettricità a muoversi.

§ 57. Le macchine elettriche a strofinìo.

1. Nozioni generali. — *Le macchine elettriche a strofinìo sono apparecchi che servono a sviluppare grandi quantità di elettricità mediante lo strofinamento.*

La prima macchina elettrica venne inventata da Ottone di Guericke (1660). Oggidì se ne costruiscono di varie forme. Descriveremo la più comune, quella detta di Ramsden (1764).

Ogni macchina elettrica a strofinìo consta di 3 parti principali: 1° *un corpo strofinato*; 2° *un corpo strofinante*; 3° *il conduttore*.

2. Macchina elettrica di Ramsden. — In questa (fig. 167)

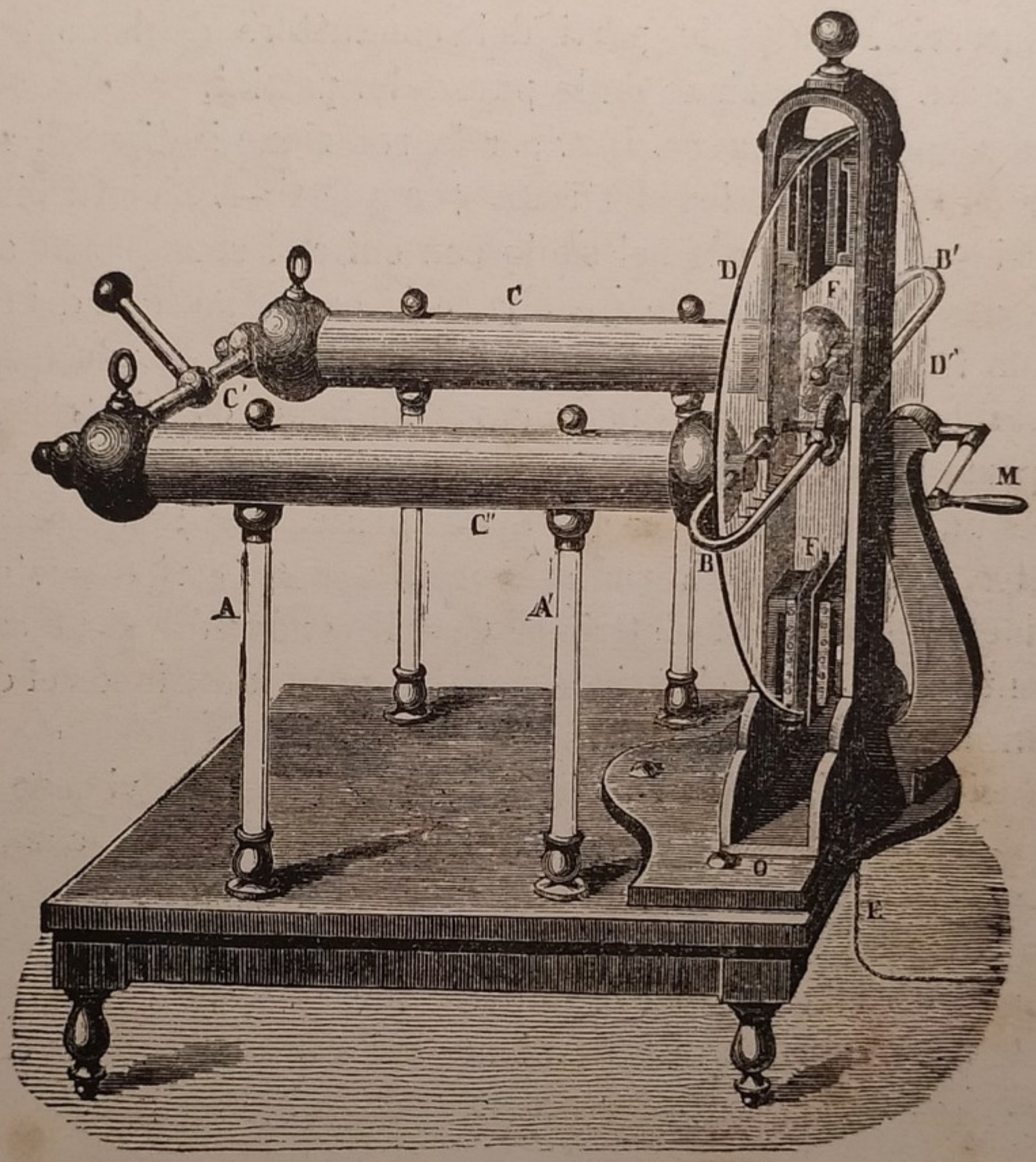


Fig. 167.

il *corpo strofinato* è un disco di vetro (DD′) fisso ad un asse che lo attraversa nel centro, col quale viene fatto girare mediante una manovella (M).

Il *corpo strofinante* consta di due coppie di morbidi cuscinetti (FF), di cuoio imbottito di crine, sostenuti da due aste verticali di legno, che abbracciano il disco secondo un diametro verticale. Essi si pongono ordinariamente in comunicazione col suolo mediante una catenella.

Il *conduttore* è costituito da due cilindri orizzontali di ottone (CC″) sostenuti da colonne isolanti di vetro (AA′), i quali nella parte (C′) lontana dal disco sono uniti trasversalmente, e nella parte vicina al disco sono muniti dai cosidetti *pettini*. Questi consistono in due verghe (BB′) di ottone, piegate ad U, munite di punte metalliche che si avvicinano alle due faccie del disco senza toccarlo. Tutte le parti del conduttore debbono essere tondeggianti, ad eccezione delle punte dei pettini.

Funzione della macchina: per la rotazione il disco di vetro strofinato dai cuscinetti si elettrizza + e questi —. L'elettricità — dei cuscinetti si disperde nel suolo con cui essi comunicano ordinariamente mediante una catenella, e la carica positiva del disco passando fra i pettini elettrizza per induzione il conduttore in cui sviluppa elettricità + nella parte lontana, ed elettricità — nella parte vicina al disco, cioè nei pettini, sulle cui punte si produce un soffio elettrico negativo che neutralizza l'elettricità + dal vetro, il quale ivi ritorna allo stato neutro, e ripassando fra i cuscinetti di nuovo si elettrizza. Così il conduttore viene continuamente caricato di elettricità positiva per l'induzione del disco che continuamente si elettrizza per strofinìo.

Perciò nel disco di una tale macchina in azione vi sono, nel verso della rotazione, due quadranti opposti positivi, compresi fra i cuscinetti e i pettini, e due quadranti opposti allo stato neutro compresi fra i pettini e i cuscinetti.

La carica elettrica del conduttore non può crescere indefinitamente ma ha un limite determinato dalla dispersione che cresce colla carica, e perciò diviene presto eguale al guadagno.

3. Particolarità sulla macchina di Ramsden. — La superficie dei cuscinetti in contatto col disco viene cosparsa, o con *oro musivo*, o con l'*amalgama* di Kienmayer, che si fa aderire ai medesimi ungendoli alquanto di sevo. Tali sostanze metalliche servono a rendere conduttrice la superficie dei cuscinetti, il che torna utile, perchè strofinando un corpo non conduttore con un corpo conduttore si ha maggior elettricità che non strofinando un corpo non conduttore con un altro corpo non conduttore, ovvero due corpi conduttori.

Avendo Peclet dimostrato che la quantità di elettricità sviluppata in un dato tempo non dipende dalla pressione dei cuscinetti contro il vetro, si deve bensì curare che essi sieno ben a contatto col disco, ma senza stringerlo troppo, ciò che aumenterebbe inutilmente il lavoro necessario per fare agire la macchina.

Per impedire che l'elettricità sviluppata nel disco per lo strofinìo si disperda pel contatto dell'aria prima che sia venuta ad agire sul conduttore si applicano ai cuscinetti due settori di seta che ricoprono il disco nei due quadranti opposti (in alto, a destra; in basso, a sinistra), in cui può avvenire quella dispersione.

Perchè una macchina elettrica dia tutta l'elettricità di cui è capace, conviene asciugare con cura, mediante stoffe calde, il disco, i cuscinetti, i conduttori e i loro sostegni isolanti.

La grandezza della carica del conduttore dipende assai da quella del vetro che lo deve influenzare. Perciò il disco deve essere di vetro il più isolante possibile, e non deve essere cosparso di amalgama, od oro musivo, se no l'elettricità sviluppata sui cuscinetti si espande sulla parte centrale del disco, la quale non è in presenza delle punte, e viene diminuita la densità dell'elettricità che deve influenzare il conduttore. Così pure si disperde questa elettricità su tutta la superficie del disco quando l'aria è umida, il che diminuisce la densità dell'elettricità influenzante, e quella dell'indotta nel conduttore.

§ 58. Esperienze colla macchina elettrica.

1. Danza elettrica. — Se si mettono pallottole di midollo di sambuco, o di sughero, in una campana di vetro, tra due dischi metallici (fig. 168), l'inferiore dei quali comunica col suolo e il superiore colla macchina elettrica, facendo agire questa, le pallottole salterellano tra il disco superiore che le attrae, e poi le respinge sull'inferiore, in contatto col quale perdono la loro elettricità.

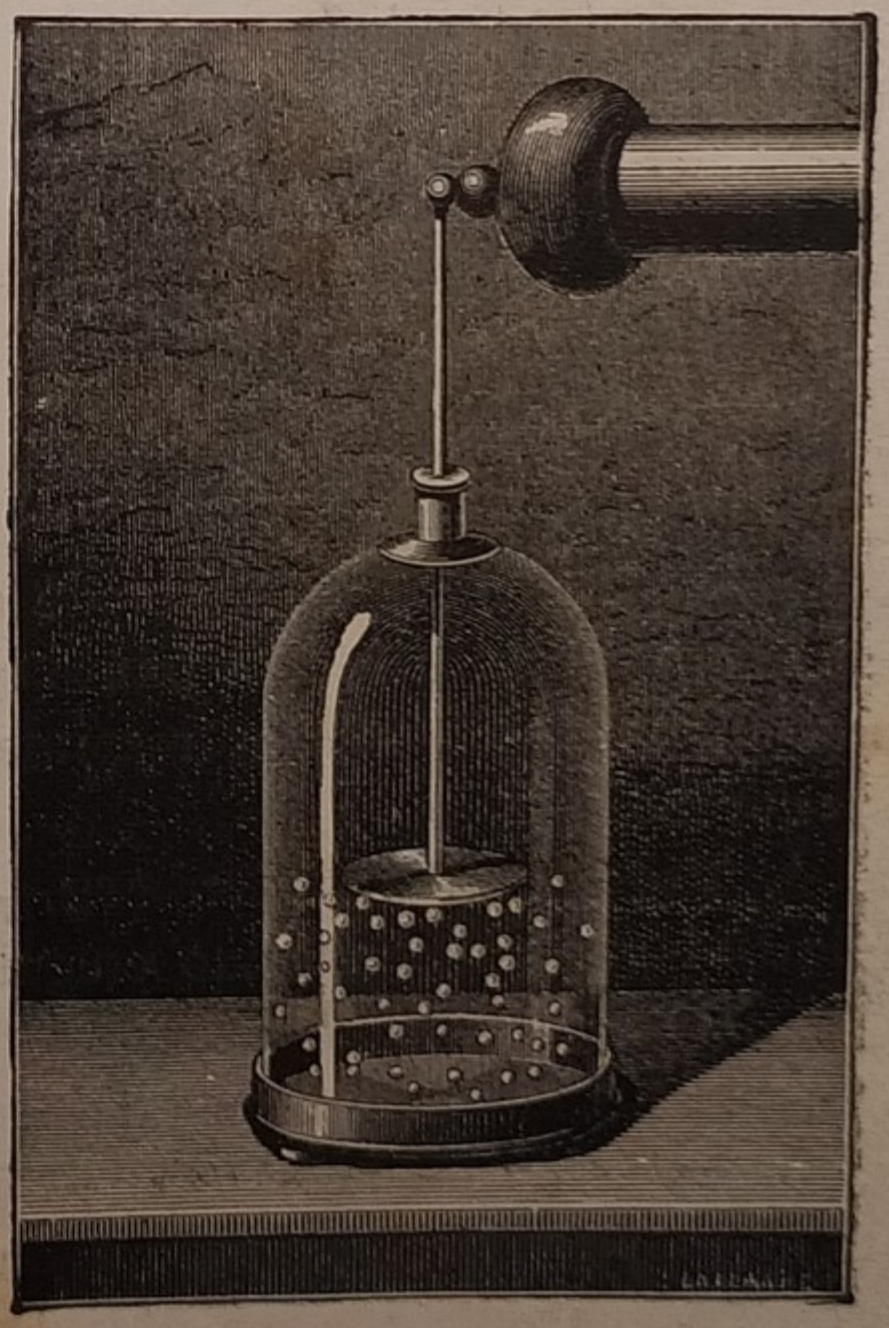


Fig. 168.

2. Scampanìo elettrico. — Se si pongono due campanelle in comunicazione col conduttore della macchina elettrica, e un'altra frammezzo in comunicazione col suolo, mentre fra le me-

desime sono sospese due palline di metallo mediante filo isolante (fig. 169), col girare del disco, le campanelle comunicanti col conduttore si elettrizzano, attraggono le palline isolate vicine, poi le respingono in contatto colla campanella mediana comunicante col suolo, cosicchè quelle perdendo la loro elettricità possono di nuovo venire attratte, e così urtando le campanelle le fanno suonare.

3. Arganetto elettrico. — L'arganetto elettrico consta di una o più verghette di ottone appuntate ai capi e ricurve a guisa di Z (fig. 170), le quali mediante un cappelletto centrale possono essere sostenute da una punta metallica comunicante col con-

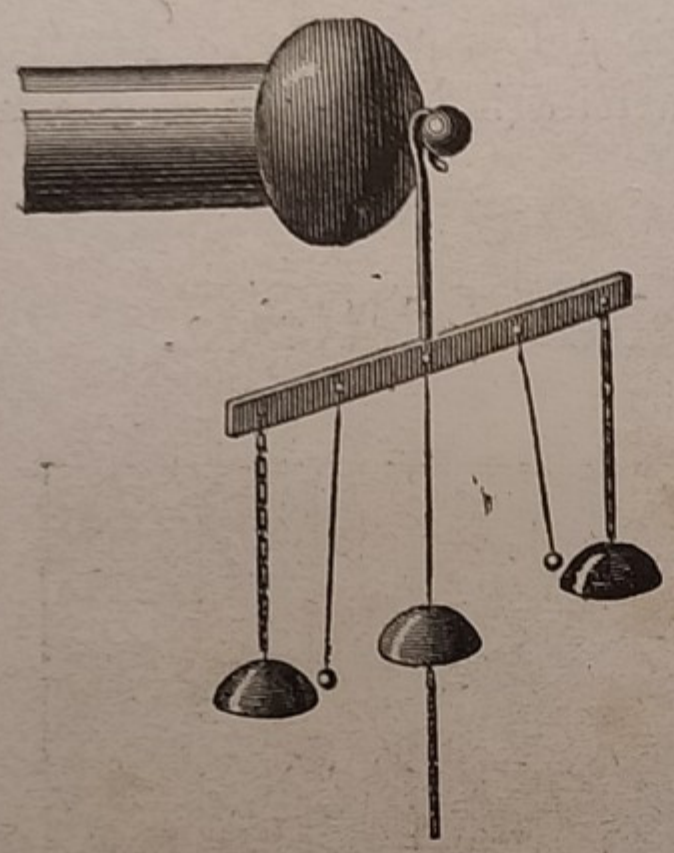


Fig. 169.

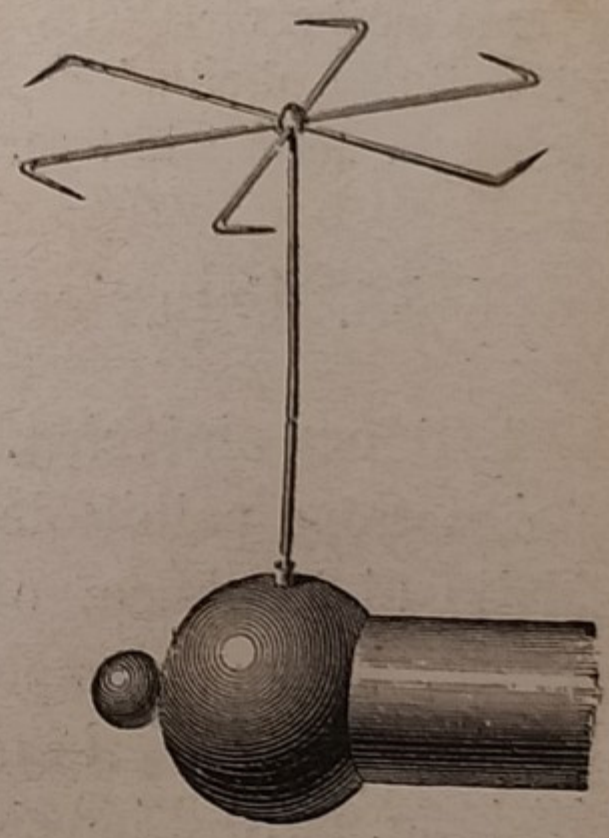


Fig. 170.

duttore della macchina. Mettendo questa in azione il molinello gira in senso contrario alle punte come fa l'arganetto idraulico, perchè le molecole d'aria respinte reagiscono sul conduttore e lo muovono.

4. Figure di Lichtenberg. — Con due bottiglie di Leida caricate inversamente si può eseguire un'interessante esperienza detta delle *figure di Lichtenberg*, che dimostra un'importante differenza nel modo di propagarsi delle due elettricità (pag. 309).

5. La scintilla nell'aria. — Quando si accosta la nocca del dito al conduttore elettrizzato della macchina elettrica scoccano da quello pungenti e scoppiettanti scintille, le quali sono dovute all'arroventamento delle particelle aeree interposte fra il conduttore e la mano, e attraversate dalla scarica elettrica che avviene

fra il conduttore elettrizzato positivamente, e la mano che avvicinata al medesimo si elettrizza negativamente per induzione. Infatti, se il conduttore è munito di elettroscopio a quadrante ad ogni scintilla si vede il pendolino discendere, il che prova che l'elettricità del conduttore sparisce nella scarica.

Lo stesso avviene avvicinando alla macchina un corpo conduttore qualunque comunicante col suolo (fig. 171).

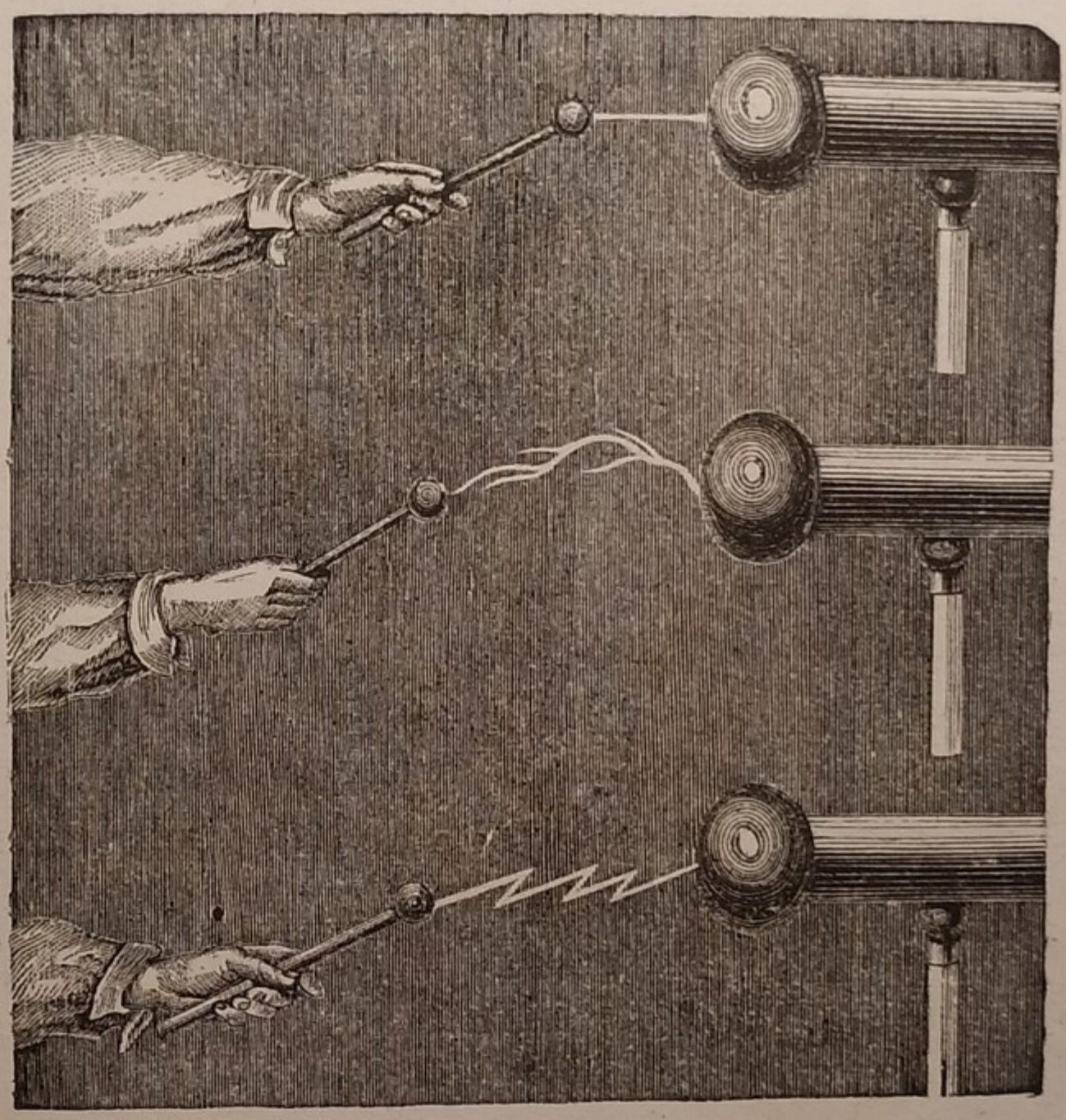


Fig. 171.

Il *colore della scintilla* dipende dalla natura dei gas attraversati dalla scarica elettrica e dalla natura dei conduttori fra cui scocca, perchè colle forti tensioni ad ogni scintilla vengono anche divelte particelle dalle due superfici fra cui avviene, e portate incandescenti dall'una all'altra.

La *forma della scintilla* dipende dalla sua lunghezza; quando è breve, è rettilinea; quando è lunga, è a zig-zag, ovvero curvilinea e sinuosa con diramazioni laterali (fig. 171).

Le scintille più lunghe si ottengono dalle parti più ricurve del conduttore, perchè ivi è maggiore la densità e tensione elettrica (pag. 290).

La lunghezza massima della scintilla, ossia la distanza alla quale essa scocca fra due conduttori che vengono avvicinati lentamente, chiamasi *distanza esplosiva*. Essa dipende dalla differenza di livello elettrico dei corpi fra cui succede la scarica, dalla loro forma, e dall'aeriforme nel quale succede il fenomeno.

La *luminosità* della scintilla dipende principalmente dalla quantità di elettricità impegnata nella scarica e cresce con questa.

La forma di scarica elettrica costituente la scintilla dicesi *disruptiva* per distinguerla da altre forme di scarica, più lente e meno clamorose e luminose.

Infine il *rumore della scintilla* è dovuto allo scuotimento del mezzo attraversato dalla scarica elettrica. La luce e il calore sono dovuti allo scuotimento delle molecole e degli atomi in cui avviene la scarica elettrica.

6. Fiocco e stelletta. — Altre forme di scariche della elettricità nell'aria sono il *fiocchetto* e la *stelletta*.

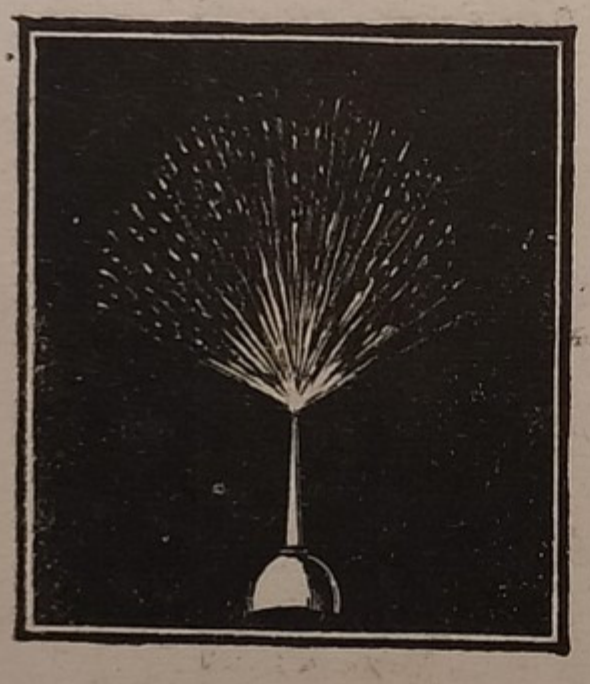


Fig. 172.

Il *fiocco* è un fascetto conico divergente di filamenti luminosi, il quale appare nell'oscurità su di una punta metallica applicata al conduttore + di una macchina elettrica in azione. Però, secondo che la punta è più o meno acuta, esso varia di lunghezza e di forma. È assai piccolo sulle punte più acute, e più lungo su quelle più ottuse, o sulle piccole sfere applicate al conduttore +.

Lo si osserva bene, in un ambiente secco, su di una sferina applicata al conduttore + di una macchina elettrica bene asciutta e fortemente carica. Esso allora presenta la forma di un picciuolo luminoso alla cui estremità vi è un fascio di filamenti luminosi divergenti (fig. 172), ed è accompagnato da un sibilo dovuto alle piccole scariche elettriche tra la punta e le particelle dell'aria che lo costituiscono.

Se invece la punta metallica è applicata al conduttore negativo, ovvero comunica col suolo ed è avvicinata al conduttore positivo, allora si vede su di essa una luce concentrata, ridotta quasi ad un punto, ma più viva e bianca, che dicesi *stelletta*. Essa è pure accompagnata da un sibilo, ma meno intenso di quello del fiocco.

Si veggono nel buio splendenti stellette sulle punte dei pettini di una macchina Ramsden.

Quindi si considera ordinariamente il fiocco come caratteristico dell'elettricità +, e la stelletta come manifestazione della elettricità —.

7. Bagno elettrico. — Si possono anche ricavare scintille dal corpo di una persona, il che costituisce l'esperienza detta *bagno elettrico*. Perciò basta che quella salga su di uno sgabello coi piedi isolanti di vetro, e si ponga in comunicazione col conduttore della macchina elettrica; così l'elettricità si porta anche sulla superficie del suo corpo, e si possono dal medesimo ricavare scintille.

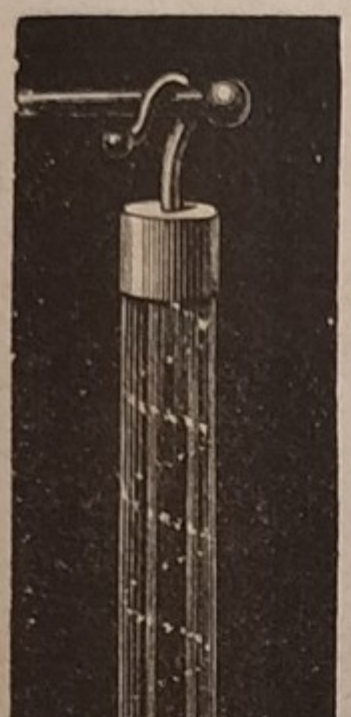


Fig. 173.

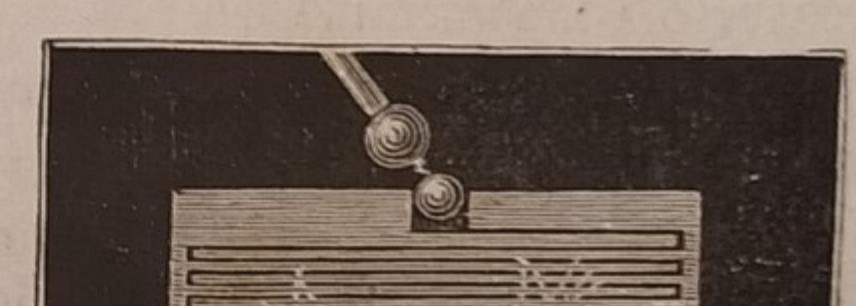


Fig. 174.

8. Tubo e quadro scintillanti. — Il tubo scintillante (figura 173) è un tubo di vetro nel cui interno sono incollati, in linea spirale, pezzetti di stagnola (foglia di stagno) in forma di rombi allungati, le cui punte però non sono a contatto, ma sono separate da piccoli intervalli. Mettendo un capo della spirale in

comunicazione col suolo e avvicinando l'altro al conduttore della macchina elettrica scoccano scintille in tutti gli intervalli, e appare sul tubo un'elica luminosa.

Il *quadro scintillante* è una lastra di vetro su cui è incollato un nastrino di stagnola lungo tante linee parallele, e nel quale con una punta si sono fatte piccole interruzioni corrispondenti a parole o disegni (fig. 174). Ad ogni scintilla che scocca fra la estremità superiore del nastrino e la macchina tutti gl'interstizi del nastrino di stagnola divengono luminosi, come nel tubo scintillante, e appare il disegno.

9. Accensione di corpi combustibili. — Mediante la scintilla elettrica si possono anche accendere corpi combustibili, siccome l'etere, l'alcool, il gas luce. Perciò basta farla scoccare attraverso i medesimi. Così per accendere l'etere se ne pone una piccola quantità in un cucchiaio metallico, che si accosta al conduttore in modo che scocchi una scintilla attraverso il liquido.

Si accende parimenti l'alcool quando sia alquanto riscaldato.

Per accendere il gas luce si fa scoccare una scintilla attraverso una corrente di esso effluente da un becco.

Tali accensioni si possono anche fare eseguire da una persona isolata e comunicante col conduttore della macchina elettrica, la quale tiene in mano una verga metallica terminata da una sfera. Accostando questa al cucchiaio contenente l'etere, ovvero al becco da cui effluisce il gas, scocca una scintilla che li accende. Basta anche la nocca del dito.

10. Pistola di Volta. — Se si fa scoccare una scintilla nel gas tonante (2 volumi d'idrogeno con 1 d'ossigeno) esso si accende con esplosione. L'apparecchio che serve a tale scopo dicesi *pistola di Volta*.

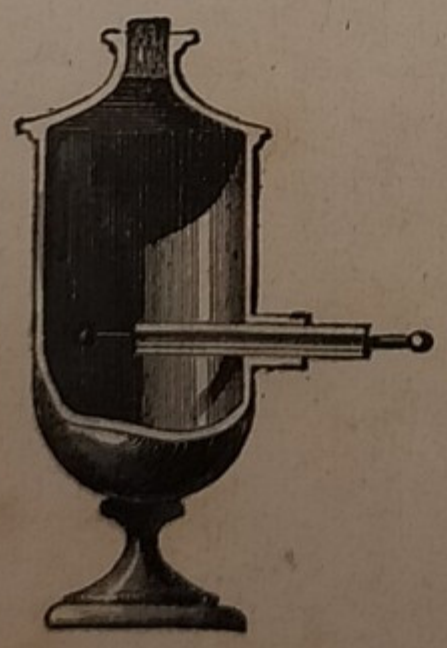


Fig. 175.

È un recipiente di vetro o metallo (figura 175) che ha una bocca a cui si applica un tappo, e la cui parete è attraversata da una verghetta di ottone contenuta in un tubo isolante di vetro, e terminata da due sferine, una esterna, l'altra interna, che si avvicina assai alla parete metallica del recipiente. Se si tiene colla mano, e quindi in comunicazione col suolo, questa parete metallica, e si

accosta la sferina esterna ad un corpo elettrizzato, in modo da ottenere una scintilla all'esterno, scocca pure una scintilla nell'interno del recipiente, nel piccolo intervallo che separa l'estremità interna dalla verghetta isolata dalla parete metallica.

Ora, se si pone nel recipiente un miscuglio di due volumi di idrogeno e un volume di ossigeno, od anche solo un poco di idrogeno nell'aria che il recipiente già contiene, e poi si chiude la bocca col tapppo, ed infine si accosta la sferina esterna ad un corpo elettrizzato, così da ottenere la duplice scintilla esterna ed interna, questa determina la combinazione dei due gas con forte detonazione.

Dalla combinazione dei due gas, ossigeno e idrogeno, nasce vapore acqueo che diviene incandescente per l'elevata temperatura prodotta dalla repentina combinazione, ed esercita sulle pareti forte pressione che fa saltare il tappo. Il vapore acqueo si condensa tosto sulle pareti del recipiente cosicchè, se queste sono di vetro, si veggono poi appannate.

L'irruzione violenta dell'aria esterna nel recipiente, in cui si forma il vuoto per la condensazione del vapore acqueo, è la causa della detonazione, fenomeno analogo, ma più violento, di quello che succede quando si stappa una bottiglia saldamente turata.

11. Ozono. — Infine, tra gli effetti chimici delle scintille elettriche, si deve ancora notare il fenomeno che, dopo parecchie scintille nell'aria, questa acquista un odore particolare, che rammenta quello del fosforo, e si attribuisce ad una modificazione che subisce l'ossigeno atmosferico, per la quale esso aumenta di densità e attività chimica, e diviene odoroso, donde il suo nome di *ozono*, che significa appunto *odoroso*. Si sente anche tale odore nell'aria, dopo la caduta del fulmine, in prossimità di questo.

§ 59. I condensatori della elettricità.

1. Bottiglia di Leida. — Chiamansi *condensatori dell'elettricità* gli apparecchi che servono a condensare grandi quantità di elettricità contrarie su due lamine metalliche vicine, separate da uno strato di materia isolante. Possono avere diverse fòrme. Quella più comune è la *bottiglia di Leida*, così denominata dal

nome di questa città dell'Olanda, ove venne inventata nel 1746. È una bottiglia di vetro (fig. 176), le cui due superfici, interna ed esterna, sono parzialmente coperte di foglie metalliche, che diconsi *armature*, interna ed esterna, e la cui bocca è turata con un tappo di sughero, traversato da una verga di ottone, diritta (fig. 176) o ricurva (fig. 177), la quale termina esternamente con una sferina detta il *bottone*, e internamente viene in contatto coll'armatura interna mediante una catenella, o un fiocco di fili metallici (*b*, fig. 176).

L'*armatura esterna* è una foglia di stagnola attaccata al vetro con gomma o colla. Essa arriva solo fino a $^2/_3$ circa della

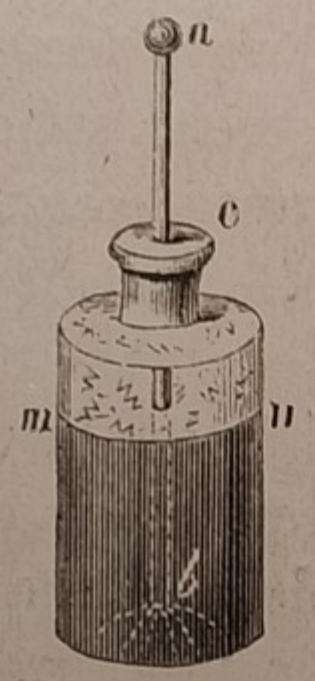


Fig. 176.

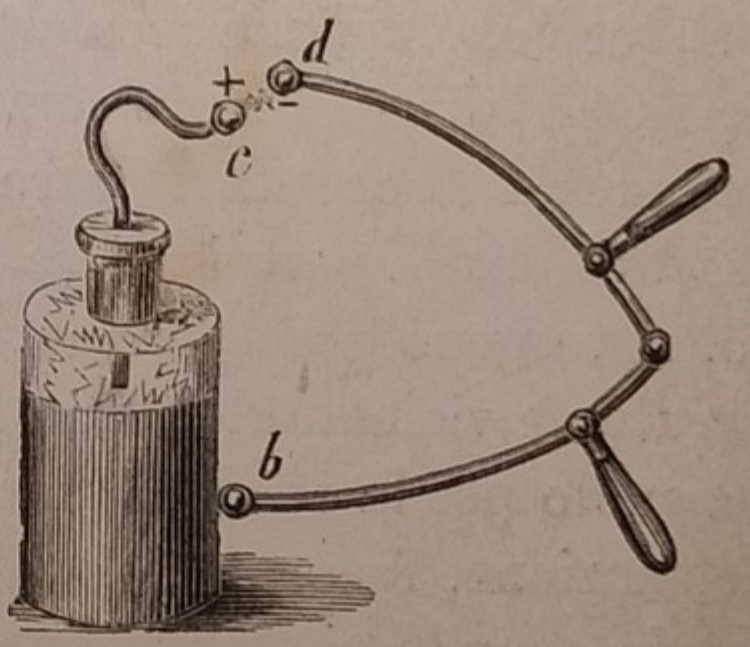


Fig. 177.

altezza della bottiglia, il cui collo, o è nudo, o coperto con uno strato di vernice isolante di ceralacca (ceralacca in infusione nell'alcole caldo).

L'*armatura interna* è costituita, o da una foglia metallica che tappezza la superficie interna fino verso il collo della bottiglia, o da foglie metalliche ripiegate che la riempiono per $^2/_3$ circa.

Nelle cosidette *giare*, o bottiglie di Leida a largo collo, tale armatura interna può anche essere una foglia di stagnola incollata sulla superficie interna; ma nelle bottiglie a collo stretto, nelle quali non si potrebbe applicare la stagnola, l'armatura interna è formata da uno strato di lega fusibile, o da una argentatura come quella dei moderni specchi.

Il vetro delle bottiglie di Leida, come di ogni altro condensatore, non deve essere nè troppo grosso, nè troppo sottile; nel primo caso viene aumentata la distanza delle armature e con ciò

diminuita la condensazione; nel secondo può accadere una scarica a traverso il medesimo, che viene forato e reso inetto alla condensazione.

2. Carica della bottiglia di Leida. — Per *caricare la bottiglia* si pone l'esterna armatura in comunicazione col suolo, tenendola ad es., colla mano, o posandola su una superficie metallica comunicante col suolo, e il bottone dell'interna armatura viene avvicinato al conduttore della macchina elettrica, per modo da ottenere una serie di scintille, ovvero vien messo in comunicazione permanente con quello. Così dopo un certo numero di scintille, o dopo un breve contatto col conduttore, si trova sull'armatura interna dell'elettricità + assai più condensata che non sul conduttore della macchina elettrica, e sull'armatura esterna elettricità —, sviluppata per induzione attraverso il vetro.

Se invece si tiene colla mano il bottone dell'armatura interna e si accosta l'armatura esterna al conduttore della macchina elettrica si carica la prima armatura di elettricità negativa e la seconda di elettricità positiva.

Con una sferina elettrizzata + (per es. col bottone di una bottiglia di Leida debolmente carica), si segna una figura qualunque su un disco isolante di resina (fig. 178), e poi con un altro corpo elettrizzato — (per es. col bottone di un'altra elettrizzata inversamente) si segna un'altra figura alquanto distante dalla prima; indi si proietta sulle due figure un miscuglio di minio e solfo in polvere precedentemente agitato in un soffietto di cuoio. Così appare sul disco la figura + tinta in giallo perchè lo zolfo, che per la confricazione si è elettrizzato —, si attacca ai punti della resina elettrizzata +, mentre la figura — appare tinta in rosso, perchè il minio, che per lo strofinio si è elettrizzato +, si attacca ai punti della resina elettrizzati —. Ora, nei primi si osservano belle ramificazioni dello zolfo, le quali dimostrano che l'elettricità + ha tendenza a diffondersi in diverse direzioni, mentre nei luoghi elettrizzati — si osservano macchiette rosse tondeggianti non ramificate, che hanno l'aspetto di goccie.

3. Scarica istantanea della bottiglia. — Si può effettuare la *scarica della bottiglia* istantaneamente o lentamente.

La *scarica istantanea* si ottiene mediante l'*arco scaricatore*, che è un arco metallico (fig. 177), composto di due parti collegate a cerniera, terminate da due sfere, e munite di manubrii isolanti. Si pone una delle sfere in contatto coll'armatura esterna e poi si accosta l'altra al bottone dell'armatura interna. Così si ottiene una forte scintilla dovuta alla neutralizzazione delle due elettricità contrarie condensate sulle due armature.

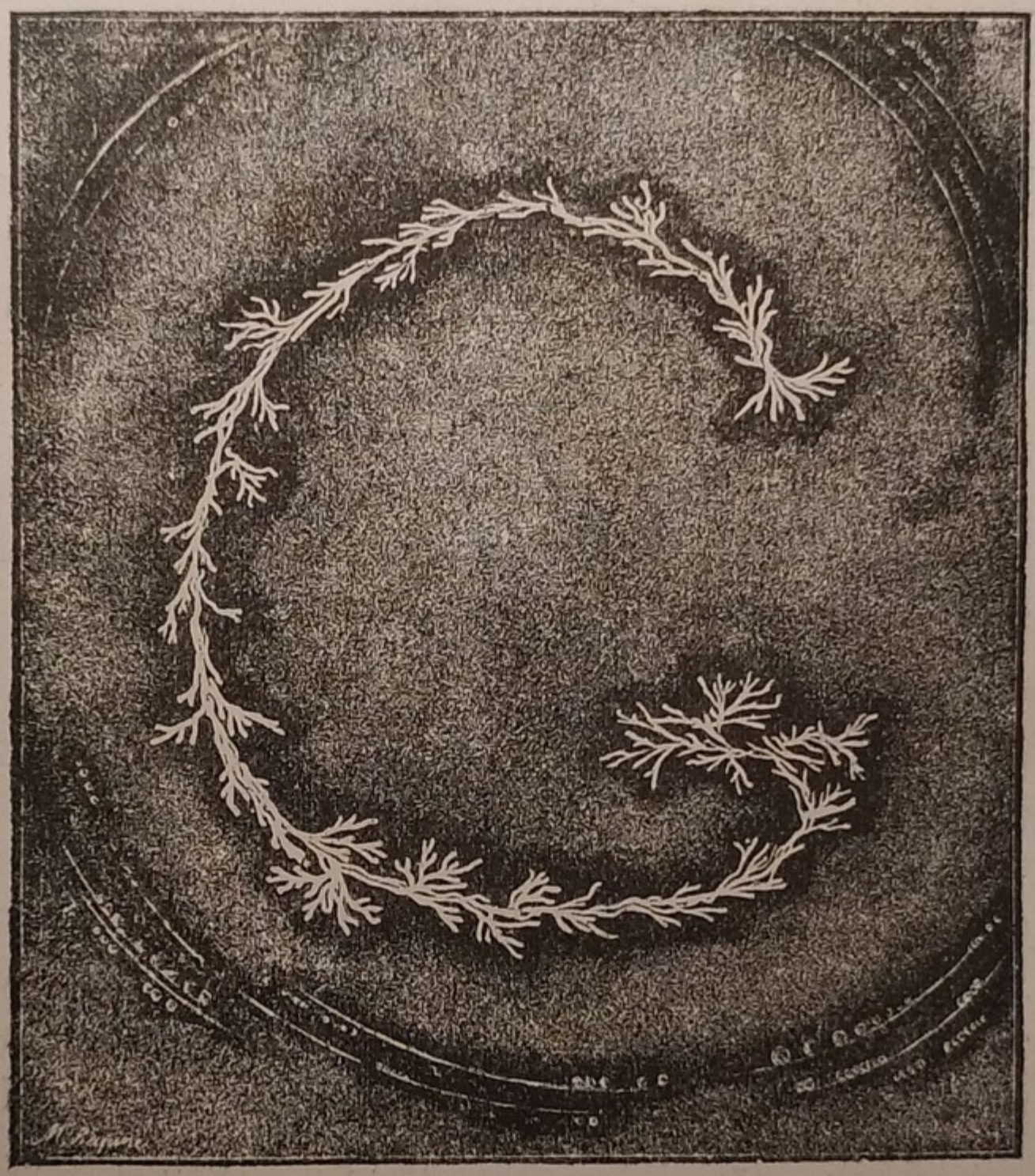


Fig. 178.

4. Scossa elettrica. — Se si stabilisce la comunicazione fra le due armature mediante le braccia, toccando con una mano l'armatura esterna e accostando l'altra al bottone dell'armatura interna, si riceve una *scossa* più o meno forte secondo che la bottiglia è più o meno carica. Non conviene fare l'esperimento con bottiglie molto cariche perchè la scossa potrebbe riuscire dannosa.

Se parecchie persone fanno *catena*, cioè si danno le mani, e mentre la persona che è ad uno dei capi della catena tocca

l'armatura esterna, quella dell'altro capo accosta la mano al bottone dell'armatura interna, provano tutte la scossa, che riesce alquanto più energica per le persone collocate ai due capi della catena.

5. Scarica lenta. — La *scarica lenta* della bottiglia si ottiene ponendola su una superficie isolante, e poi toccando alternativamente, colla nocca del dito, l'interna (il bottone) e l'esterna armatura. Ad ogni contatto si ricava una piccola scintilla. Ma in questo modo la scarica dura lungo tempo.

Se invece si colloca la bottiglia su una superficie conduttrice e comunicante col suolo, allora basta accostare replicatamente al bottone la nocca del dito. Però, se anche il suolo fosse conduttore, si riceverebbe la scossa attraverso tutta la lunghezza del corpo, perchè questo stabilirebbe comunicazione fra l'armatura interna e l'armatura esterna comunicante col suolo.

6. Scarica lenta con scampanìo. — *La scarica lenta si può anche ottenere automaticamente e con uno scampanìo*, mediante un apparecchio costituito da una bottiglia di Leida il cui bottone è costituito da una campana (fig. 179), e da un'altra campana laterale comunicante coll'armatura esterna, mentre tra le due campane è sospesa una pallina metallica mediante un filo isolante di seta. Caricata la bottiglia la si colloca accanto alla pallina, e questa viene dapprima attratta dalla campana della bottiglia, poi respinta in contatto coll'altra campana ove perde la sua elettricità; indi viene di nuovo attratta, e così di seguito; d'onde risulta uno scampanìo che dura a lungo.

Fig. 179.

7. Originè della bottiglia di Leida. — La bottiglia di Leida ricevette il suo nome dalla città di Leyden in Olanda, ove nel 1746 venne eseguita da Cuneus l'esperienza che le diede origine. Egli voleva elettrizzare l'acqua contenuta in un vaso di vetro che teneva esternamente colla mano, la quale faceva da

armatura esterna, mentre una verga metallica pescante nell'acqua costituente l'armatura interna conduceva in essa l'elettricità da una macchina. Indi, mentre teneva sempre il vaso esternamente con una mano, tolse coll'altra la verga metallica che pescava nell'acqua, e ne ricevette una forte scossa.

8. Condensatore di Epino. — *Per dimostrare come avviene la condensazione della elettricità nella bottiglia di Leida e negli altri condensatori* si usa il condensatore detto di Epino, il quale consta di due dischi metallici (A, B, fig. 180), ciascuno dei quali è portato da un braccio metallico sostenuto da una colonna isolante di vetro, ed è munito di pendolino. Le

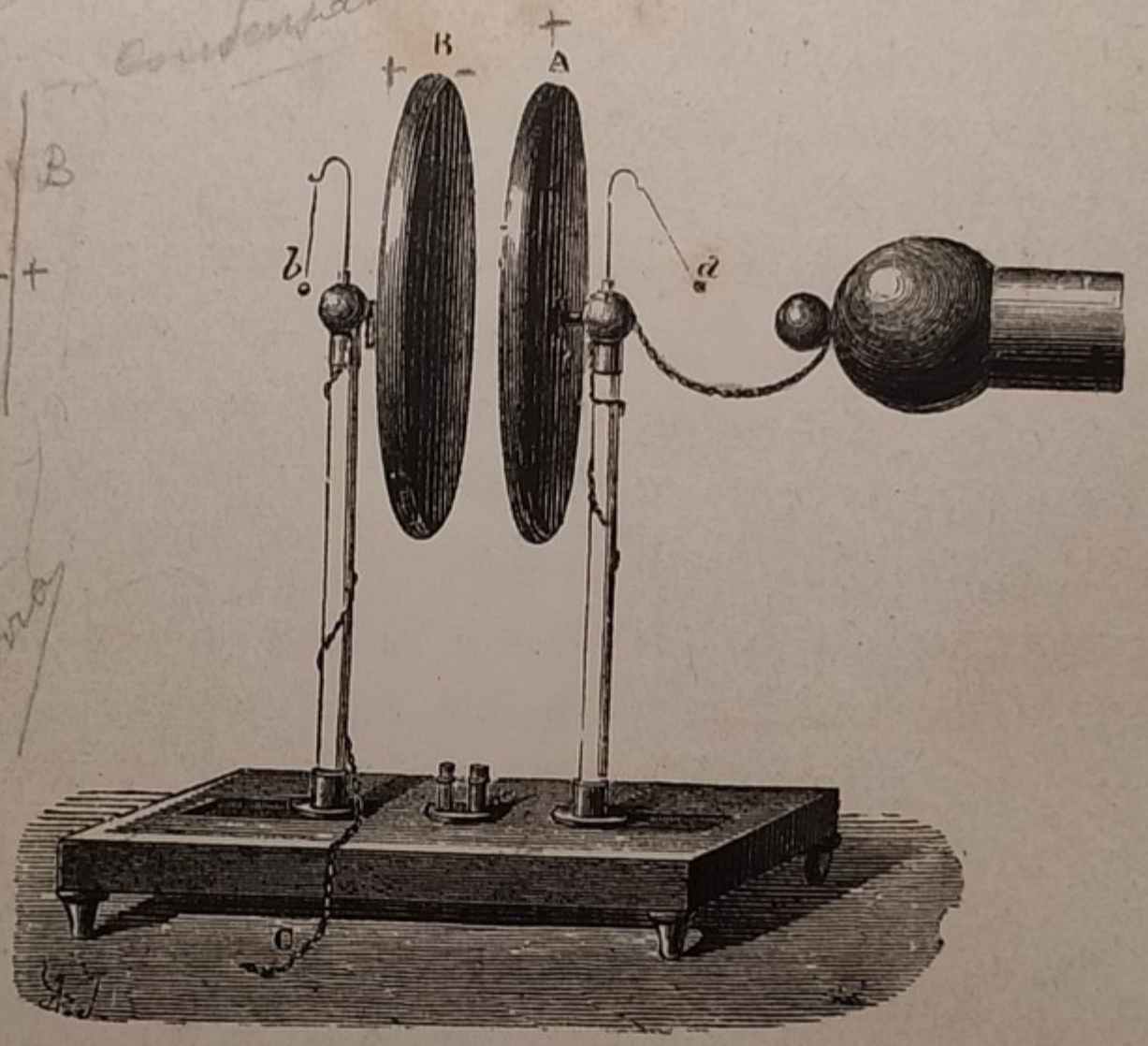


Fig. 180.

colonne e quindi i due dischi si possono avvicinare od allontanare, e fra di essi si può interporre una lastra di vetro, che si appoggia su di un sostegno intermedio (tale lastra non è indicata nel disegno).

I due dischi costituiscono le *armature*. L'uno viene posto in comunicazione colla sorgente elettrica, e questo dicesi il *collettore*; l'altro viene posto in comunicazione col suolo, e questo dicesi il *condensatore*, perchè condensa l'elettricità della sorgente sull'altro.

Per studiare sperimentalmente con tale apparecchio il fenomeno della condensazione si toglie dapprima la lastra isolante e si allontana il disco condensatore (B) dal collettore (A). Indi si pone questo in comunicazione col conduttore della macchina elettrica in azione e così esso acquista una carica +, finchè il livello della elettricità sul medesimo è eguale a quello

del conduttore della macchina, ciò che si riconosce dall'osservare che il pendolino applicato all'estremità del braccio del collettore (A) non si solleva ulteriormente.

Allora se si interrompe la comunicazione del collettore (A) colla macchina, e poi gli si avvicina il condensatore (B) in comunicazione col suolo, si vede il pendolino del collettore abbassarsi perchè l'elettricità — sviluppata per induzione sul collettore B comunicante col suolo agisce alla sua volta per induzione sul collettore A e sviluppa in questo elettricità + sulla faccia interna vicina, ed elettricità — sulla sua parte lontana, cioè all'estremità del suo braccio ove è collocato il pendolino, e questo si abbassa perchè ivi viene diminuito il potenziale elettrico positivo. Perciò se viene ristabilita la comunicazione colla sorgente di elettricità il collettore A può ricevere una nuova quantità, la quale agisce come la prima, e così di seguito fino ad un certo limite.

Pertanto la capacità del collettore viene aumentata quando gli si avvicini il condensatore.

Se si mette stabilmente il collettore in comunicazione colla sorgente e in vicinanza di esso il condensatore comunicante col suolo, il primo si carica rapidamente di elettricità + fino a che il suo potenziale sia eguale a quello della sorgente, e il secondo di elettricità —.

Se i due dischi od armature sono solo separati da uno strato d'aria, siccome questa oppone poca resistenza al passaggio della scarica elettrica, non si possono condensare grandi quantità di elettricità contrarie sulle due armature, perchè succede presto una scarica fra le medesime. Ma se si interpone fra essi una lastra isolante di vetro, siccome questa oppone assai maggiore resistenza dell'aria alla scarica, perciò si accumulano maggiori quantità di elettricità sulle due armature, prima che succeda la scarica, massime se quelle sono il più possibile vicine, cioè in contatto colla lastra isolante. Ma finirà anche per succedere una scarica lambente la superficie del vetro sporgente fra le due armature. Che se la lastra di vetro fosse troppo estesa per permettere alla scarica di lambire la sua superficie, e troppo sottile per impedire alle due elettricità di scaricarsi attraverso di essa, potrebbe avvenire una scarica che forerebbe la lastra.

9. Principio della condensazione. — Dalle cose dette risulta che i condensatori sono fondati sul fatto che *la capacità elettrica di un conduttore viene accresciuta quando esso si trova in vicinanza di un altro conduttore comunicante col suolo*, perchè quello sviluppa per induzione elettricità contraria in questo, la quale fa abbassare il potenziale elettrico sul primo conduttore, permodochè, per portarlo al potenziale della sorgente di elettricità, bisogna comunicare al medesimo una quantità di elettricità maggiore di quella che basterebbe per tale innalzamento di potenziale senza la vicinanza dell'altro conduttore.

Questo principio si può dimostrare più comodamente che col condensatore di Epino, mediante l'elettroscopio condensatore di Volta (pag. 316).

10. Chiamasi **capacità di un condensatore** la capacità del collettore quando è in presenza dell'altra armatura comunicante col suolo, e **potere condensante** il rapporto $\frac{C}{c}$ fra la nuova capacità C e la primitiva c del collettore.

La capacità di un condensatore dipende dalla superficie delle armature, dalla loro distanza e dalla natura del coibente interposto.

Se le superfici delle due armature sono poco incurvate e disposte parallelamente ad una distanza d molto piccola si dimostra che la capacità C del condensatore è approssimativamente espressa dalla formola:

$$C = \frac{k S}{4 \pi d}$$

nella quale S è la superficie comune delle due armature, e k è un coefficiente che dipende dalla natura del coibente, e dicesi *potere induttore specifico* di questo; infine π è il solito rapporto della circonferenza al diametro.

La precedente formola significa pertanto che *la capacità è in ragione diretta della superficie delle armature e del potere induttore specifico, e in ragione inversa della distanza delle armature.*

Per es., un condensatore a lamina di vetro può presentare una capacità da 4 a 6 volte maggiore di uno a lamina d'aria, a parità delle altre condizioni perchè il potere induttore specifico del vetro è maggiore di quello dell'aria.

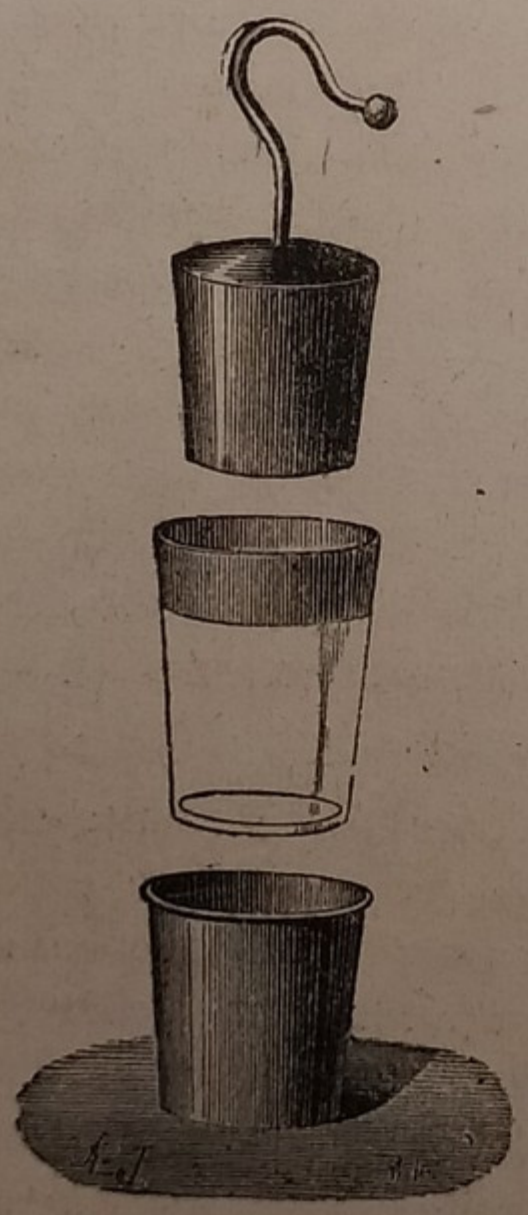


Fig. 181.

10. La carica elettrica dei condensatori penetra nella lastra isolante. — Ciò si dimostra mediante la bottiglia ad armature mobili. Essa è costituita da un bicchiere di vetro (fig. 181), esattamente contenuto in un altro metallico, che costituisce l'armatura esterna, e che ne contiene un altro pure metallico con verghetta e bottone, il quale costituisce l'armatura interna. Si collocano le due armature in contatto colla lamina isolante o bicchiere, e poi si carica l'apparecchio nel modo ordinario. Indi lo si colloca su un sostegno isolante, si scompone, si toccano le sue armature separate, e poi lo si ricompone. Allora coll'arco scaricatore si ottiene una scintilla, pressochè eguale a quella che si ha quando lo si scarica senza scomporlo.

11. Scariche residue e susseguenti. — La penetrazione delle due elettricità nella lamina isolante spiega anche il fenomeno delle *cariche residue.*

Qualche tempo dopo la prima scarica se ne ottiene, da un condensatore, una seconda più debole, e poi dopo questa una terza, e anche una quarta, sempre più debole. Ciò dimostra che la scarica istantanea non neutralizza tutta l'elettricità del condensatore, ma che rimane sempre una frazione della sua carica elettrica, ossia un *residuo*. Si attribuisce questo fatto alla penetrazione delle due elettricità dalle armature nell'interno della lamina isolante, e al ritorno di tale elettricità verso la superficie quando, dopo la scarica delle armature, essa non è più respinta dalla elettricità di queste.

Le dette scariche residue provano che il coibente solido (poichè i condensatori a lamina d'aria non presentano tale fenomeno) subisce per la carica una modificazione, la quale non scompare totalmente nella prima scarica. Il fenomeno è analogo a quello denominato *elasticità susseguente dei solidi*, per il quale un solido al cessare dell'azione deformatrice perde bensì gran parte della deformazione subita, ma non tutta, e non ripiglia esattamente la forma primiera che dopo un tempo più o meno lungo.

12. Dielettrico. — Dalle esperienze precedenti risulta che i corpi isolanti interposti fra i corpi conduttori pigliano parte al fenomeno della condensazione.

Anzi, mentre l'induzione non si verifica al di là di un corpo conduttore non isolato, invece si verifica benissimo a traverso un isolante comunicante col suolo, perchè le sue molecole si polarizzano tutte per induzione, senza perdere l'omonima, la quale agisce sulle molecole successive, e quindi su un corpo conduttore collocato ad una certa distanza da un corpo elettrizzato che produce l'induzione.

Perciò, come diconsi corpi *diafani* quelli che trasmettono la luce, e *diatermani* quelli che trasmettono il calore, così Faraday chiamò *dielettrici* i corpi isolanti, attraverso ai quali avviene il fenomeno della induzione.

Pare adunque che i coibenti prendano una parte attiva nel fenomeno dell'induzione, ed in generale nella trasmissione delle azioni elettriche, le quali oramai si considerano come azioni fra le parti contigue dei corpi, e non più come azioni a distanza.

13. Quadro fulminante di Franklin. — Un'altra forma di condensatore è quella denominata *quadro fulminante* di Franklin (1751), che è una lastra piana di vetro, le cui due faccie sono ricoperte di foglia di stagnola fino ad una certa distanza dall'orlo, che è invece rivestito di uno strato di vernice isolante. Si carica come gli altri condensatori, cioè ponendo una delle armature in comunicazione col suolo e l'altra colla macchina elettrica. Se le dimensioni dell'apparecchio sono alquanto grandi si ottengono potenti scariche.

14. Batteria elettrica. — Coll'ingrandire la lamina isolante e le armature si aumentano le quantità di elettricità condensate

su queste, e quindi la potenza della scarica. Ma siccome non si possono accrescere le dimensioni degli apparecchi oltre un certo limite, perchè non sono più maneggiabili, perciò, per avere po-

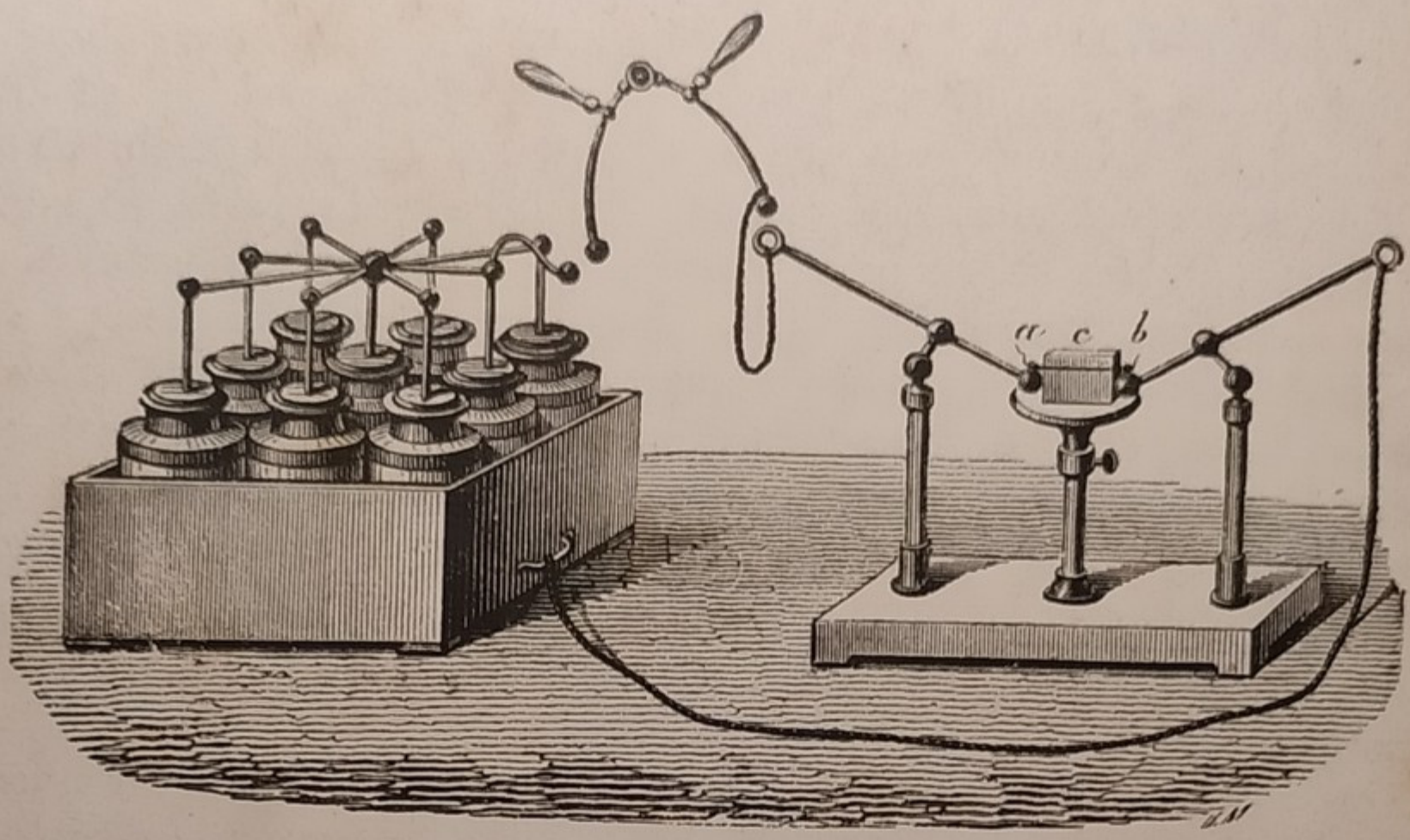


Fig. 182.

tenti scariche, si usa la *batteria elettrica* (fig. 182), che è una riunione di parecchie bottiglie le cui armature esterne comunicano fra loro per mezzo di una foglia di stagnola, che ricopre il fondo della cassetta che le contiene, e le cui armature interne sono congiunte per mezzo di verghe metalliche.

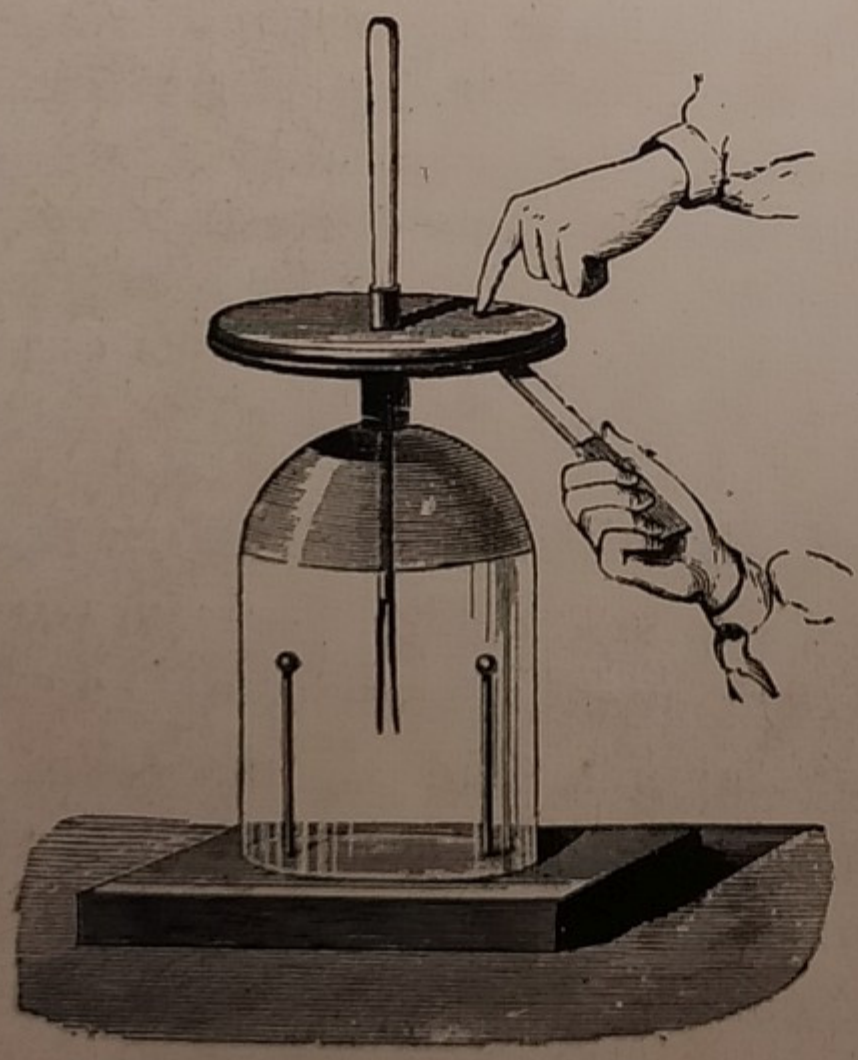


Fig. 183.

Si carica la batteria ponendo le armature interne in comunicazione col conduttore + di una macchina elettrica e l'armatura esterna in comunicazione col suolo.

15. Elettroscopio condensatore del Volta (1785). — Questo apparecchio, che servì al Volta per le indagini che lo resero immortale è un elettroscopio a foglie d'oro, al cui bottone è sostituito un piccolo condensatore (fig. 183), allo scopo di condensare piccole quantità di elettricità e renderle manifeste. Il piatto inferiore, o collettore, è avvitato all'elettro-

scopio, e il piatto superiore, o condensatore, è munito di manubrio isolante. La lastra isolante è costituita dalla vernice fatta con gomma lacca disciolta nell'alcool che si dà all'ottone, colla quale sono coperte le faccie interne affacciate dai due dischi.

L'apparecchio serve a manifestare piccole differenze di livello elettrico le quali per sè non sarebbero capaci di far divergere le foglie.

§ 60. L'elettroforo e le macchine elettriche ad induzione.

1. Elettroforo di Volta (1775). — *È un apparecchio che serve come sorgente di elettricità.* Consta di un disco di resina (P. fig. 184), detto la *schiacciata* (pece, colofonia, gomma lacca, solfo, fusi assieme) contenuto in un *piatto* di legno (*bb*, fig. 185) foderato internamente di metallo, sul quale

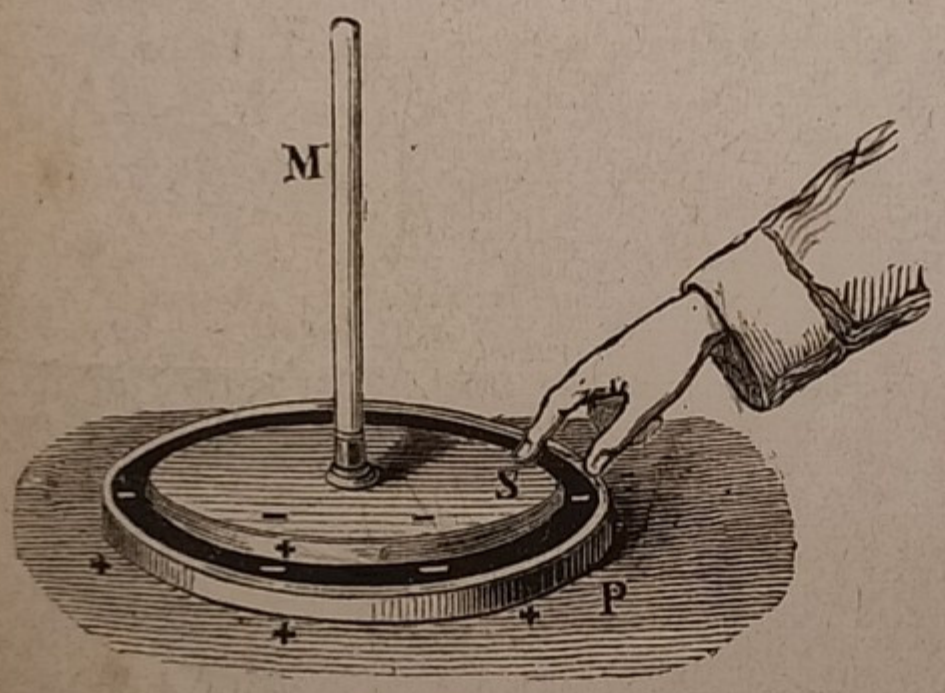


Fig. 184.

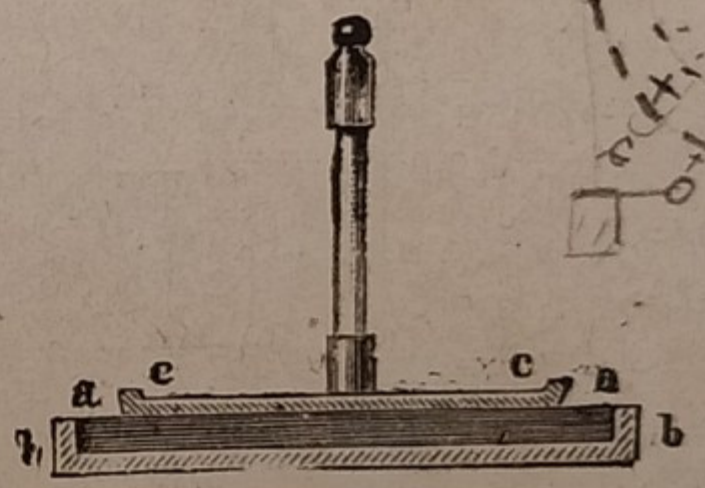


Fig. 185.

si sovrappone un disco di metallo (S, fig. 184), o di legno coperto di stagnola, detto *scudo*, munito di manubrio isolante (M).

Per fare funzionare questo apparecchio si elettrizza il disco coibente, strofinandolo, o meglio percuotendolo con pelliccia. Indi vi si sovrappone lo scudo, il quale si elettrizza per induzione, diviene positivo sulla faccia inferiore, negativo sulla superiore. Se lo si solleva senza toccarlo, le due elettricità si neutralizzano nuovamente, ed esso non rimane elettrizzato. Ma se lo si mette in comunicazione col suolo, toccandolo col dito, l'elettricità negativa respinta si disperde, e resta sul medesimo la positiva, la quale diviene libera dopo il suo sollevamento, e può dare una scintilla, ovvero essere comunicata ad altri corpi.

Siccome in tale procedimento non viene sottratta elettricità al coibente, così si può ripetere indefinitamente l'operazione e ottenere sullo scudo replicate cariche elettriche.

2. Le macchine elettriche ad induzione. — Mentre le macchine elettriche a strofinio sviluppano sempre nuova elettricità mediante lo strofinio.

le macchine elettriche ad induzione sono apparecchi coi quali si può sviluppare sempre nuova elettricità mediante l'induzione, come nell'elettroforo, ma col vantaggio che mentre in questo l'induzione agisce interrottamente, in quello agisce in modo continuo. Inoltre in tali macchine ambe le elettricità sviluppate per induzione sono attive, mentre nell'elettroforo agisce solo una di esse.

Tali sono le macchine del Bertsch, del Carré, dell'Holtz, del Toepler e le più recenti del Voss, del Vimshurst, del Bonetti ed altre.

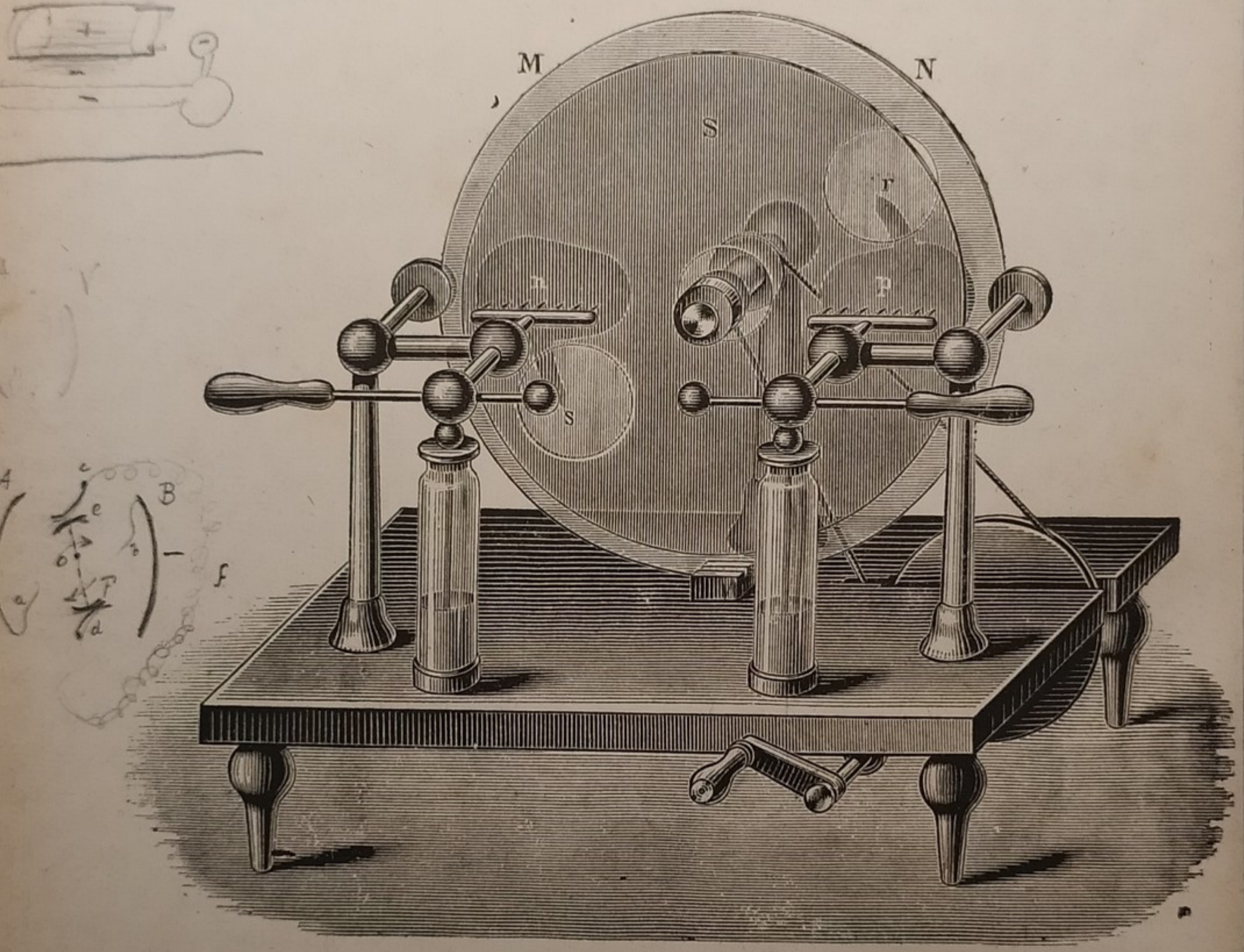


Fig. 186.

Per brevità limitiamo lo studio alla macchina di Holtz, come tipica.

3. Macchina ad induzione di Holtz. — Consta di 2 sottili dischi di vetro, inverniciati con gommalacca sciolta nell'alcool, assai vicini e paralleli, il posteriore dei quali (*M N*, fig. 186) un poco più grande dell'altro è fisso in appositi sostegni di ebanite, mentre l'anteriore (*S*) è applicato ad un asse, cui si può comunicare un rapido moto di rotazione mediante 2 carrucole ed una fune. Il disco fisso è forato nel centro per lasciare passare l'asse di rotazione del disco mobile, e ai due capi di un diametro ha due fori o finestre *s*, *r* (circolari nel modello della figura). Sulla faccia posteriore di questo

disco, sopra la finestra di sinistra, e sotto quella di destra, sono incollati due settori, od armature di carta inverniciata con gommalacca (*n*, *p*), da cui partono due listerelle, o denti (*s*, *r*) pure di carta, appuntati, che attraverso alle finestre del disco posteriore giungono colla loro punta vicinissimo, o in contatto, della faccia posteriore del disco mobile.

Di fronte alle armature di carta trovansi avanti al disco anteriore due pettini di ottone, sostenuti da due colonne isolanti laterali di ebanite, e comunicanti mediante verghe di ottone con altre due verghe metalliche mobili che attraversano due sfere metalliche sovrastanti a due piccoli condensatori (come si scorge nella figura).

Queste verghe mobili, denominate *conduttori*, od *elettrodi*, o *poli* della macchina, sono terminate ad un capo da sferine metalliche, ed all'altro da manubrii isolanti, per poterle avvicinare od allontanare senza ricevere scosse. I condensatori si possono togliere.

In alcune macchine, dette Töpler-Holtz, avanti la faccia anteriore del disco mobile vi è ancora una verga metallica armata di punte verso le sue estremità, in modo da costituire 2 pettini mobili, perchè la verga può girare sull'asse di rotazione del disco mobile cui è applicata. Questi pettini si pongono di fronte alle armature di carta, a distanza più o meno grande dai pettini fissi.

Per fare funzionare questa macchina si pongono in contatto le sferine dei due conduttori, quindi con un pezzo di ebanite, o un bastone di vetro elettrizzato, o collo scudo elettrizzato di un elettroforo, si comunica elettricità ad una delle armature, e si fa girare il disco mobile in verso contrario alla direzione dei denti delle armature di carta. Allora, se la macchina funziona bene, si sente un poco di resistenza nella rotazione del disco, e si ode un sibilo o ronzìo, e allontanando le sfere dei due conduttori scocca fra di esse un torrente di scintille finchè si mantiene il disco in rotazione. Esse sono piccole e frequenti se le sferine dei conduttori sono vicine, più forti e più rade se sono alquanto lontane.

Se poi si allontanano le sfere dei conduttori oltre un certo limite, la macchina repentinamente cessa di agire, e per rimetterla in azione bisogna nuovamente caricarla.

Affinchè la macchina funzioni è necessario che i sostegni e i dischi sieno bene asciutti e senza polvere. Perciò è utile proteggerla con custodia di vetro.

Le scintille che scoccano fra le sferine che terminano i due conduttori risultano tanto più grosse e rade quanto maggiore è la capacità dei conduttori stessi, cioè quanto maggiore è la quantità di elettricità che bisogna comunicare ai medesimi per portarli alla differenza di livello elettrico necessaria per vincere la resistenza dell'aria, e col crescere di tale elettricità, cresce quella che determina ogni singola scintilla. Ora i condensatori comunicanti coi conduttori aumentano appunto la capacità di questi.

La funzione della macchina si interpreta osservando che supposta, per es., una delle striscie di carta elettrizzata +, essendo dapprima gli elettrodi

in contatto, il pettine controstante alla detta striscia diviene —, e l'altro +, e per la rapida rotazione del disco le punte dei pettini elettrizzano una metà di esso — e l'altra metà +; dopo $^1/_2$ giro la metà del disco elettrizzata — passando davanti al pettine + vi induce nuova carica +, mentre l'altra metà elettrizzata + passando davanti al pettine — vi induce nuova carica —, e queste elettricità + e — dei pettini scaricandosi sul disco accrescono le cariche contrarie dei pettini e dei conduttori comunicanti coi medesimi, permodochè quelli vengono continuamente per influenza caricati di elettricità contraria, e perciò scoccano continuamente scintille fra i medesimi allontanati.

Similmente agiscono le **altre macchine ad induzione**, fra le quali sono oggidì assai usate quelle di Voss, di Vimshurst e di Bonetti, che sono *autoeccitatrici*, cioè si caricano da se stesse per piccoli residui di elettricità esistenti nelle medesime, oppure per il semplice contatto delle dita coi dischi.

4. Corrente elettrica. — Togliendo i condensatori ad una macchina ad influenza la scarica diviene continua, e costituisce una *corrente elettrica* se avviene in un filo conduttore, l'*effluvio elettrico* se avviene nell'aria.

Però le correnti elettriche efficaci si ottengono, come vedremo, mediante altri apparecchi.

§ 61. Effetti della scarica dei condensatori.

1. Effetti luminosi. — Gli effetti delle scariche dei condensatori si possono distinguere in *luminosi*, *calorifici*, *meccanici*, *fisiologici*.

Gli *effetti luminosi* consistono in vive e clamorose scintille, che si ottengono dai condensatori, quando si pone un'estremità dell'arco scaricatore in contatto coll'armatura esterna, e si accosta l'altra estremità al bottone dell'armatura interna. Tali scintille sono più luminose e clamorose di quelle del conduttore della macchina elettrica, perchè dovute alla neutralizzazione di quantità maggiori di elettricità contrarie.

L'energia della scarica dipende sovratutto dall'estensione delle armature, col crescere delle quali, cresce la quantità di elettricità condensata. Quindi egli è sovratutto col quadro fulminante di Franklin, e colla batteria, che si ottengono più folgoreggianti e clamorose scintille.

2. Durata della scintilla. — Secondo Vheatstone (1835) la durata della scintilla dei condensatori scoccante fra due palline metalliche è maggiore

di quelle che si ottengono dal conduttore di una macchina elettrica, perchè la 1ª è di $^1/_{21000}$ di secondo, mentre la seconda non arriva a un milionesimo.

3. Bottiglia e quadro lampeggiante. — Si ottengono belle ramificazioni luminose, vagamente colorate, colla *bottiglia* e col *quadro lampeggiante*, che sono condensatori in forma di bottiglia, o di quadro, con una faccia ricoperta di stagnola e l'altra ricoperta di minuzzoli di sostanza metallica, attaccati con gomma, o colla. Mettendo la prima in comunicazione colla macchina e l'altra col suolo (fig. 187), succedono ad intervalli, sulla faccia coperta di frammenti metallici, belle scintille ramificate e colorate.

4. Effetti calorifici. — Facendo passare la scarica della batteria a traverso fili metallici, questi si riscaldano, si arroventano, fondono e volatilizzano.

Il riscaldamento dipende dalla quantità di elettricità e dalle dimensioni e conduttività del filo; esso è maggiore pei fili poco conduttori e sottili che non pei buoni conduttori e grossi.

Si usa a questo scopo, ed in generale per sottoporre oggetti diversi alle scariche di una batteria, l'apparecchio detto *eccitatore universale* di Henley, il quale (fig. 177) consta di due verghe metalliche terminate ad una estremità (a, b) da un bottone, all'altra da un anello, e sostenute da colonne di vetro su cui sono girevoli, per mezzo di un'articolazione che loro permette anche di venire più o meno avvicinate. Le estremità terminate da bottoni possono essere appoggiate su di una tavoletta su cui si collocano gli oggetti (c) che debbono essere attraversati dalla scarica elettrica, e le estremità terminate da anelli si pongono in comunicazione, l'una coll'armatura esterna della batteria, e l'altra colla armatura interna mediante l'arco scaricatore.

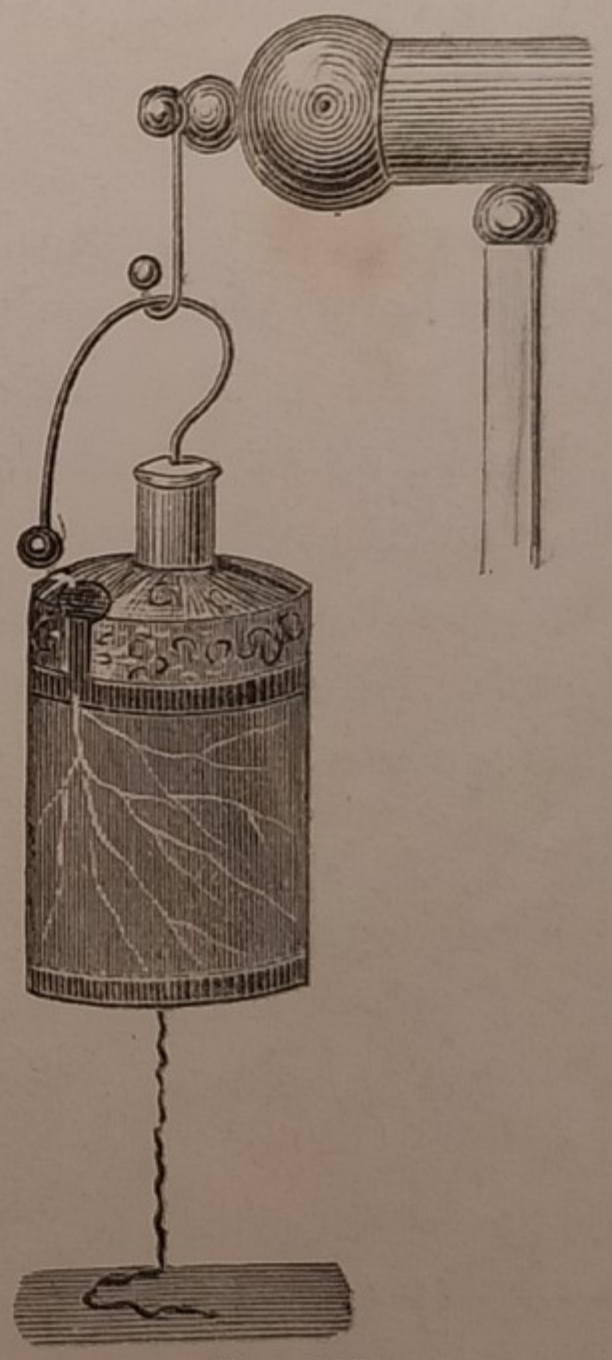


Fig. 187.

Per fondere un filo metallico, p. es., un filo di ferro sottilissimo, lo si intercala nel circuito della scarica della batteria, mediante l'eccitatore universale descritto, fissandone i due capi alle estremità delle verghette del medesimo. Se la scarica è abbastanza forte, il filo si arroventa, fonde e si riduce in globicini incandescenti.

Un nastrino di stagnola, attraversato dalla scarica, si riduce in una nuvoletta di ossido di stagno. Un nastrino di foglia d'oro si riduce pure in una nuvoletta di oro estremamente diviso.

Colla scarica dei condensatori si possono accendere *corpi infiammabili*, meglio che colle scariche del conduttore della macchina elettrica, sia perchè le scariche sono più potenti, sia perchè hanno maggior durata.

Riesce facile anche con una sola bottiglia di Leida l'accensione di un miscuglio di clorato potassico e solfuro di antimonio, che si colloca in una piccola cavità praticata in una tavoletta di legno, nella quale cavità si fa scoccare una piccola scintilla mediante due fili metallici separati da un piccolo intervallo; per ottenere questa scintilla si mette l'estremità esterna di un filo in contatto coll'armatura esterna della bottiglia e si accosta il bottone di questa al capo esterno dell'altro filo.

5. Effetti meccanici. — Gli effetti meccanici della scarica dei condensatori consistono in dilatazioni, scuotimenti e lacerazioni che essa produce quando attraversa corpi cattivi conduttori.

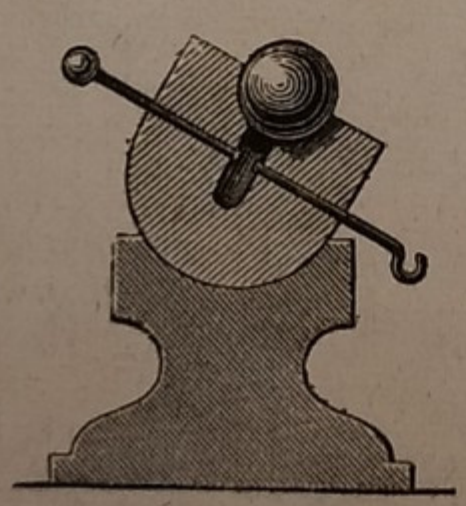


Fig. 188

Così se si fa succedere una scarica attraverso l'aria di una cavità chiusa con un tappo mobile, per la dilatazione del gas quello viene proiettato, il che costituisce l'esperienza del *mortaio elettrico* (fig. 188).

Se si fa passare la scarica di una bottiglia, o meglio di una potente batteria, a traverso solidi non conduttori, questi vengono forati o lacerati. Così si forano la carta, le carte da giuoco, il cartone. Una lastra di vetro viene forata o spezzata, e uno stecchetto di legno ben secco, viene ridotto in scheggie. Per la scheggiatura di legno si mette un pezzetto di questo ben secco fra due punte metalliche.

Tale esperienza permette di intendere come il fulmine cadendo sugli alberi, o sui pali telegrafici, li squarci.

6. Effetti fisiologici. — Si dicono effetti fisiologici quelli che la scarica dei condensatori produce nel corpo degli animali. Si è già detto (pag. 310), come si riceva la scossa toccando con una mano l'armatura esterna di una bottiglia carica, e coll'altra il bottone dell'armatura interna. Essa consiste in una contrazione muscolare più o meno dolorosa secondochè la scarica è più o meno forte. Se è debole si sente solo nelle braccia, se è forte anche nel petto, e può cagionare sputi di sangue e rattrappimenti. Una scarica potente può riuscire mortale, come avviene pel fulmine.

§ 62. Calamite naturali e artificiali.

1. Calamita naturale. — Fra i minerali da cui si estrae il ferro, ve ne ha uno il quale si distingue per la proprietà che alcuni dei suoi pezzi attraggono la limatura e piccoli pezzi di ferro.

Esso era già conosciuto dagli antichi, che lo ricavavano dalle miniere di ferro in vicinanza della città di Magnesia, nell'Asia Minore, donde ricevette il nome di *ferro magnetico*, o *magnetite* (*Magnes lapis*). È composto di ferro e ossigeno ($Fe_3 O_4$); perciò i chimici lo chiamano *ossido magnetico*. Però non tutti i pezzi di minerale avente la detta composizione posseggono naturalmente la proprietà di attrarre il ferro; anzi sono rari quelli dotati di tale proprietà, e questi sono tutti irrugginiti; ma tutti la possono acquistare mediante un procedimento di cui si parlerà più innanzi.

Il detto minerale viene dai fisici denominato *magnete*, o *calamita naturale* per distinguerlo dai magneti o calamite artificiali.

2. Calamite artificiali. — Queste si distinguono in *temporarie e permanenti.*

Le *calamite temporarie* sono costituite da una spranga di ferro dolce (ferro quasi puro e ricotto, in modo che riesce pieghe-

vole e non elastico) diritta o ricurva a ferro di cavallo (fig. 189), attorno alla quale è avvolto un filo di rame rivestito di materia isolante. Quando si fa passare pel filo una corrente elettrica la spranga di ferro acquista le proprietà di un'energica calamita, per cui può reggere grandi pesi.

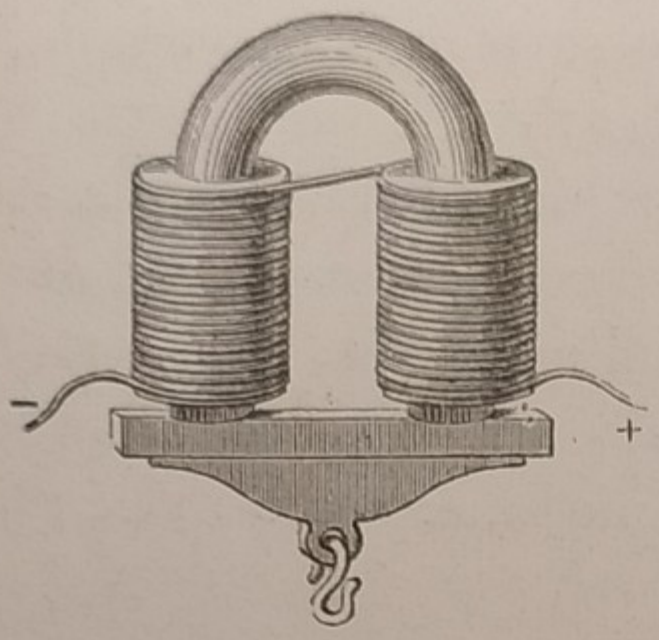


Fig. 189.

Al cessare della corrente cessa la magnetizzazione della sbarra, e perciò tali calamite si dicono *temporarie;* chiamansi pure *elettrocalamite* perchè generate dalla elettricità.

Le *calamite artificiali permanenti* sono sbarre di acciaio diritte (fig. 190), o ricurve a ferro di cavallo, che si ottengono strofinandole con altre calamite, specialmente colle potenti elettro-calamite.

3. Azione delle calamite su tutti i corpi. — Se si avvicinano altri corpi, per es., rame, zinco, vetro, legno, ecc., non si osserva attrazione con una calamita debole, naturale o artificiale. Le calamite artificiali alquanto forti cominciano a tirare pezzi di alcuni metalli, quali il nichelio, il cobalto, il cromo, il manganese. Ma colle calamite potenti, che si ottengono mediante la corrente elettrica, si è riconosciuto che tutti i corpi sono più o

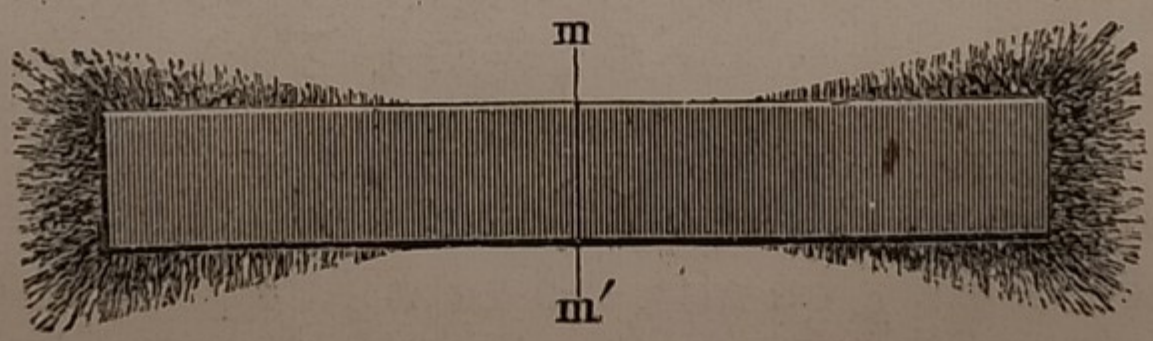


Fig. 190.

meno sensibili all'azione delle calamite, e che mentre gli uni sono attratti, gli altri sono respinti.

I corpi attratti si dicono *magnetici* o *paramagnetici;* quelli respinti chiamansi *diamagnetici.* Il corpo più paramagnetico è il ferro; seguono il nichelio ed il cobalto. Il corpo più diamagnetico è il bismuto; seguono l'antimonio, il fosforo e il rame. Però la repulsione del bismuto è solo paragonabile all'attrazione del

nichelio e non a quella del ferro. Perfino i liquidi e i gas sono paramagnetici o diamagnetici.

4. L'attrazione magnetica agisce attraverso i corpi. — L'attrazione magnetica agisce non solo attraverso all'aria, ma in generale attraverso a tutti i corpi, per es., la carta, il vetro, il legno, ecc., e anche attraverso i metalli non magnetici, ma non attraverso il ferro.

§ 63. I poli di una calamita e le loro reciproche azioni.

1. Poli di un magnete. — Se si immerge una calamita nella limatura di ferro si vede che questa non si attacca dappertutto egualmente, ma in maggior abbondanza verso i capi, e sempre meno verso il mezzo ove l'attrazione è nulla (fig. 190).

Così pure se si avvicina un pezzetto di ferro a diversi punti di un magnete si vede che esso non è punto attratto nel mezzo, ma nel modo più energico dalle estremità.

Da questa esperienza risulta che: *La magnetica attrazione non ha eguale energia in tutti i punti di un magnete, ma è massima in due punti collocati verso i capi e va decrescendo da questi verso il mezzo.*

Chiamansi *poli* di un magnete i punti in cui l'attrazione magnetica è massima, e *linea neutra* la sezione (mm') nella quale l'attrazione magnetica è nulla. Dicesi poi *asse* di un magnete *la retta che congiunge i due poli.*

I poli sono tanto più vicini alle estremità del magnete quanto più la calamita è sottile e lunga, e viceversa. Nei magneti corti, ed in generale in quelli la cui lunghezza non è uguale a 50 volte il diametro, come sono i magneti usuali, i poli sono ad un sesto circa della loro lunghezza a partire da ciascuna estremità.

2. Azione direttrice della terra sui magneti. — Se si sospende un magnete pel suo mezzo ad un filo (fig. 191) in modo che possa liberamente girare in un piano orizzontale, lo si vede orientarsi in modo da rivolgere i suoi poli l'uno verso il nord e l'altro verso il sud del globo terrestre.

Così pure dirigesi un ago magnetico (fig. 192), cioè una sottile lastrina di acciaio magnetizzata, avente la forma di un rombo assai allungato, e munita nel centro di un cappelletto colla cupola di agata, mediante la quale si appoggia su di una punta e può liberamente girare in un piano orizzontale. Si può anche collocare l'ago su di un pezzo di sughero galleggiante nell'acqua.

Se l'ago è deviato da tale direzione che gli dà la terra, e poi abbandonato a sè, esso vi ritorna dopo una serie di oscillazioni.

Dunque: *Oltre l'attrazione ogni magnete ha una seconda proprietà fondamentale, cioè che, quando può muoversi liberamente, volge un polo verso il nord e l'altro verso il sud della terra.*

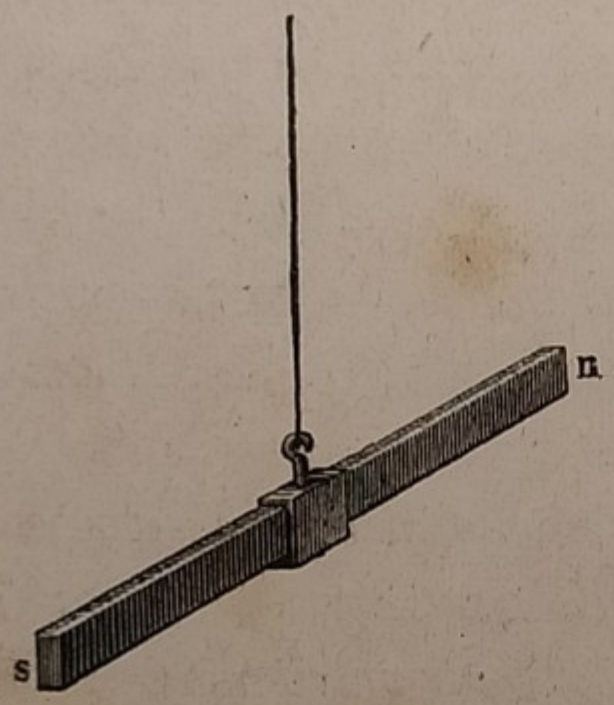


Fig. 191.

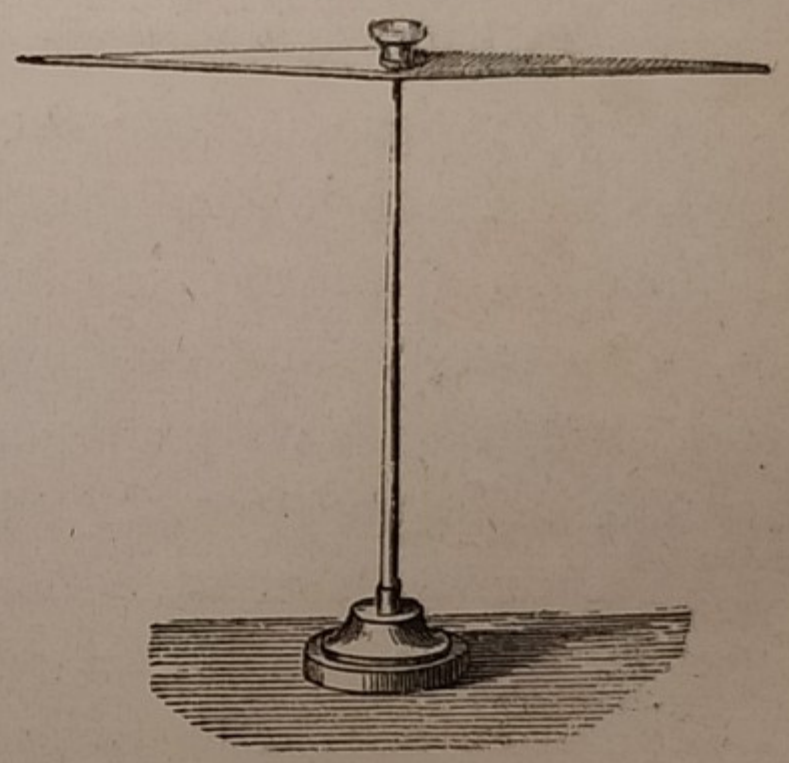


Fig. 192.

Dicesi *polo nord* o *positivo* quello che si rivolge al nord; *sud* o *negativo* quello che si rivolge al sud.

3. Attrazioni e ripulsioni magnetiche. — Se al polo nord di un magnete mobile si avvicina il polo sud di un altro magnete, si vede che essi si attraggono, ma se si avvicina il polo nord si respingono. Così pure se al polo sud di un magnete si avvicina il polo nord di un altro vi è attrazione, invece col polo sud vi è repulsione.

Da queste esperienze risulta che mentre i due poli di un magnete agiscono ambidue nello stesso modo, cioè per attrazione, sul ferro non magnetizzato, si comportano diversamente col ferro

magnetizzato, ossia colle calamite, secondo la legge: *i poli dello stesso nome* (omonimi) *si respingono e quelli di nome contrario* (eteronimi) *si attraggono*.

4. Modo di riconoscere se il ferro è magnetizzato, o no. — La precedente legge somministra il *modo di riconoscere se un pezzo di ferro è magnetizzato, o no, e la posizione dei poli nel primo caso*. Perciò lo si presenta successivamente ai due poli di un ago magnetizzato mobile; se li attrae ambidue non è magnetizzato; se invece attrae l'uno e respinge l'altro è magnetizzato, e presenta un polo nord ove respinge il polo nord dell'ago, ed inversamente.

§ 64. Induzione magnetica.

1. Esperienze. — Se si colloca un ago magnetico mobile, ad una certa distanza, per es., di 60 *cm*. circa, da un polo magnetico fisso (fig. 193), indi si prende una verga di ferro dolce non magnetizzata, di lunghezza alquanto minore della detta distanza, e, tenendola orizzontalmente in direzione perpendicolare all'ago magnetico, la si interpone tra un polo della calamita fissa e il polo omonimo dell'ago magnetico, si osserva che questo viene respinto dall'estremità della verga lontana dal polo della calamita fissa.

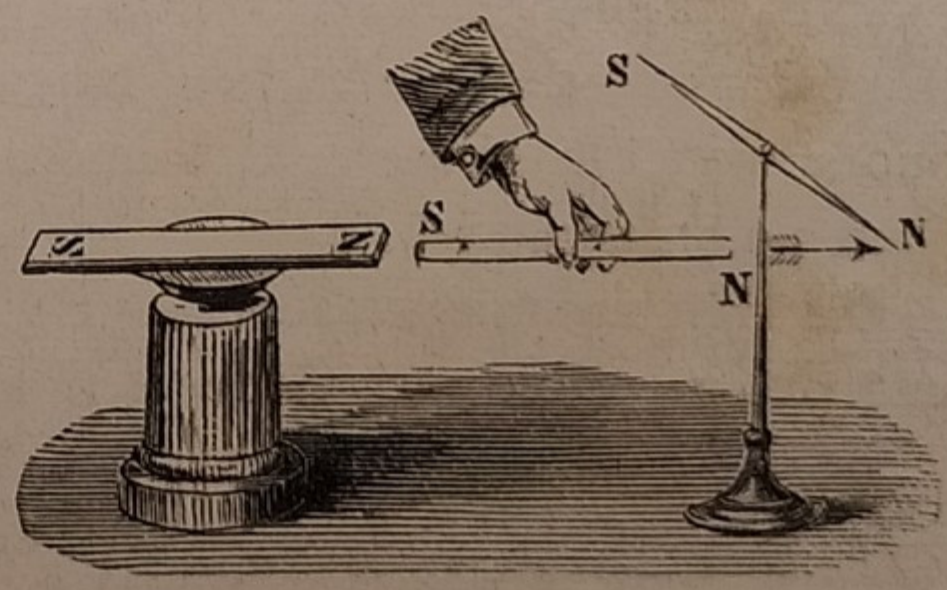


Fig. 193.

Allontanando la sbarra di ferro dolce, l'ago ritorna nella posizione primiera.

La stessa esperienza si può ripetere coll'altro polo della calamita fissa e dell'ago magnetico.

Dunque, un pezzo di ferro dolce accostato ad un polo magnetico acquista in lontananza da questo una polarità identica a quella di detto polo.

E per provare che nella estremità vicina del ferro accostato ad un polo magnetico nasce magnetismo contrario a questo, conviene mettere in contatto del medesimo una verghetta di acciaio, per es., un ago da cucire; poscia distaccandolo, si verifica che l'estremità messa in contatto con un polo nord ha acquistato un polo sud, ed inversamente.

2. Induzione magnetica. — Dalle precedenti esperienze risulta che: *Un pezzo di ferro posto in contatto, od anche solo in vicinanza, di un polo magnetico diviene esso stesso un magnete, ma con polarità contraria, cioè l'estremità vicina al polo magnetico diviene un polo contrario e l'estremità lontana un polo omonimo.*

Questo fenomeno analogo a quello dell'induzione elettrostatica (pag. 292), dicesi *induzione magnetica*. L'induzione magnetica, come l'induzione elettrostatica, è tanto più intensa quanto più l'indotto è vicino all'inducente.

Quindi ogni corpo prima di venire attratto da un polo magnetico si magnetizza per induzione e acquista in vicinanza di quel polo magnetismo contrario. Onde l'attrazione che si manifesta fra un polo magnetico e altri corpi è sempre un'attrazione fra poli magnetici contrarii, e magnetici sono solo quei corpi che sono suscettibili di acquistare magnetismo contrario in vicinanza di un polo magnetico.

3. Catena magnetica. — Se attaccasi ad un polo di un magnete un cilindretto di ferro dolce (fig. 194) si può al primo attaccarne un secondo, a questo un terzo, e così di seguito, fino ad un certo numero; ma se si distacca dal polo magnetico il primo pezzetto di ferro questo non è più capace di reggere gli altri, i quali cadono; il che dimostra che la magnetizzazione non è durevole ma solo temporaria. Se invece si ripete l'esperimento con aghi da cucire, di acciaio, essi risultano stabilmente magnetizzati, quantunque debolmente, anche dopo il distacco.

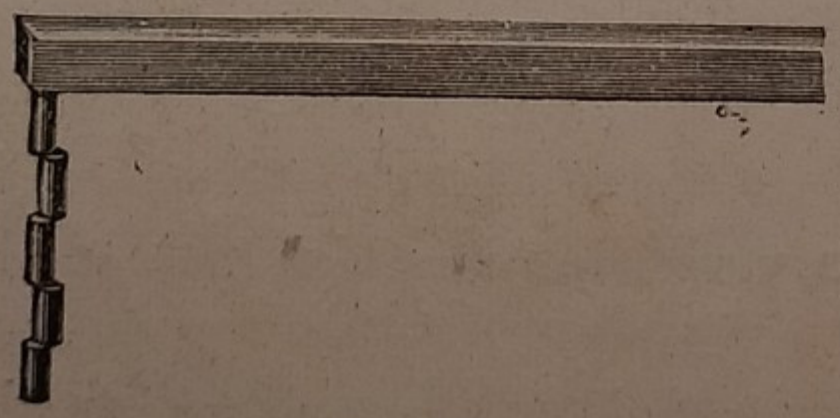


Fig. 194.

Così pure se ai due poli di una calamita a ferro di cavallo si appendono due anelli di ferro, si possono a questi appenderne

altri due, e così di seguito, fino ad un certo numero più o meno grande secondo la potenza dei poli magnetici, e il peso degli anelli, e la qualità del ferro da cui sono formati; i due ultimi anelli avvicinati si attaccano ancora fra loro, e così risulta una *catena*, detta *platonica*.

Il primo esperimento spiega *la disposizione della limatura di ferro attorno alle calamite in filamenti divergenti gli uni dagli altri*, perchè ciascuna particella si comporta come un cilindretto dell'esperienza precedente, cioè acquista per influenza la polarità magnetica, e perciò diviene capace di attrarne un'altra successiva. Di più le estremità lontane di ciascuna particella, siccome poli omonimi, si respingono, e così i filamenti divergono reciprocamente.

4. Neutralizzazione del magnetismo mediante l'induzione. — Se ad un polo di una calamita rettilinea si appende un pezzo di ferro, per es. una chiave, indi si colloca nel mezzo della spranga magnetizzata, il polo di un'altra spranga magnetizzata di egual forza, contrario a quello cui è sospeso il ferro, e facendolo scorrere sulla prima spranga lo si avvicina a codesto polo contrario, ad un certo punto il ferro sospeso cade, perchè il magnetismo che lo tratteneva viene neutralizzato da quello contrario che induce il polo contrario.

5. Induzione fra magneti e paradosso magnetico. — L'induzione magnetica si esercita non solo fra un polo magnetico e un pezzo di ferro dolce non magnetizzato, ma anche fra due magneti. Perciò, avvicinando i poli contrarii di questi, l'azione induttiva reciproca accresce la polarità di entrambi; se invece si approssimano i poli omonimi ciascuno di essi induce magnetismo contrario nell'altro, e quindi le loro polarità omonime vengono diminuite e la più debole può anche venire invertita. Allora alla primitiva repulsione fra i poli omonimi può succedere attrazione fra il polo del magnete più energico ed il polo contrario da esso sviluppato per induzione nel più debole magnete.

Per tal guisa può succedere che poli dapprima omonimi si attraggano invece di respingersi, il che costituisce il così detto *paradosso magnetico*.

Perciò nel provare se un pezzetto di ferro è magnetizzato, o no, non lo si deve avvicinare rapidamente ai poli di un ago cala-

mitato, ma lentamente, in modo da evitare che per la troppo piccola distanza il magnetismo contrario sviluppato per induzione nel medesimo dal polo dell'ago prevalga sul magnetismo omonimo che può esistere nel ferro che si esplora.

6. Differenza fra il ferro dolce e l'acciaio nella magnetizzazione per induzione. — Se si prendono due cilindretti di eguali dimensioni, ma l'uno di ferro dolce e l'altro d'acciaio temperato, e si mettono successivamente o contemporaneamente in contatto per un capo con uno stesso polo magnetico o coi due poli di un elettrocalamita, mentre l'altro capo si immerge nella limatura di ferro, sollevandoli poscia da questa, si vede che la limatura aderisce più abbondantemente al cilindro di ferro dolce che non a quello di acciaio. Distaccando poscia i due cilindri dai loro poli magnetizzanti si vede che la limatura aderente al cilindro di ferro dolce si distacca più abbondantemente di quella aderente all'altro di acciaio.

Dunque: *a parità di condizioni la magnetizzazione temporaria sviluppata nel ferro dolce per induzione di un polo magnetico è più energica che nell'acciaio temperato, mentre il contrario è per la magnetizzazione permanente.*

Perciò *col ferro dolce si ottengono i più forti magneti, ma solo temporarii, mentre coll'acciaio si ottengono magneti meno forti, ma permanenti.*

7. Forza coercitiva. — La resistenza che presentano il ferro e l'acciaio alla magnetizzazione, come pure alla smagnetizzazione, chiamasi *forza coercitiva.* Questa è massima nell'acciaio e minima nel ferro dolce.

La forza coercitiva dell'acciaio dipende in parte dalla qualità del medesimo, cioè dalla proporzione del carbonio che contiene, e in parte dal suo grado di tempera o durezza.

Infatti quando l'acciaio rovente viene immerso nell'acqua fredda esso diviene assai duro e fragile, ed acquista la massima forza coercitiva. Se poi questo viene lentamente riscaldato, o come si dice *ricotto*, e poi lasciato raffreddare lentamente, esso perde una parte della sua durezza, ma anche una parte della sua forza coercitiva, e tanto più quanto maggiore è il riscaldamento. Una sbarra di acciaio temperato riscaldata fino al color rosso e poscia lentamente raffreddata perde la sua durezza e la sua forza coercitiva, e si comporta quasi come il ferro dolce.

§ 65. Magneti elementari, spettro e campo magnetico.

1. Esperienza. — Se si comunica il magnetismo ad una verga di acciaio temperato, per esempio ad un ferro da calze, col fare scorrere parecchie volte, contemporaneamente o successivamente, due poli magnetici contrarii sulle due metà del medesimo, e, dopo avere accertato la sua polarità magnetica, lo si rompe nel mezzo, cioè in corrispondenza della linea neutra, si trova che le due superfici di rottura hanno polarità contraria fra loro e a quella dei due poli della calamita intiera, cioè che ciascuna metà è divenuta una nuova calamita. Continuando a rompere la calamita finchè si può, si ripete sempre lo stesso fatto, cioè i più piccoli frammenti sono magneti regolari, coi poli orientati come quelli del magnete da cui provengono.

Viceversa si può *fare la sintesi di una calamita* ponendo parecchi cilindretti di ferro magnetizzati, ovvero i pezzi di una

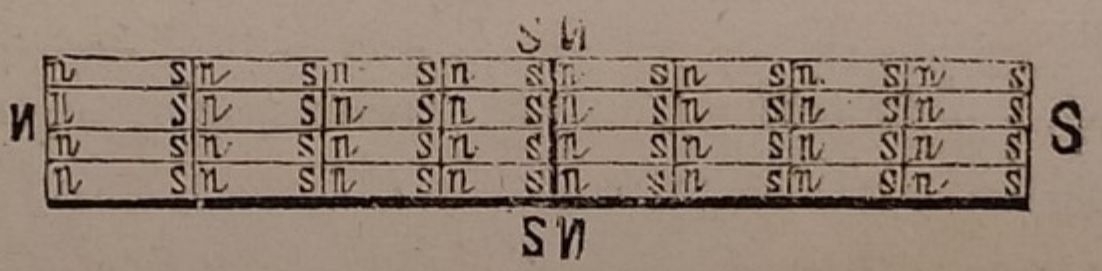


Fig. 195.

calamita spezzata, l'un dopo l'altro entro un tubo di vetro per modo che i loro poli dello stesso nome sieno rivolti verso la stessa estremità. Si vede così che essi agiscono su di un ago magnetico come una calamita unica di forza maggiore di quella di ciascun cilindretto preso separatamente, ed avente un polo nord verso l'estremità cui sono rivolti i poli nord delle calamite parziali, e il polo sud verso le estremità cui sono rivolti i poli sud delle stesse calamite.

2. Magneti elementari. — Perciò si deve considerare un magnete come costituito da un'infinità di piccoli *magneti elementari*, o *molecolari*, disposti per modo che i loro poli omonimi sieno rivolti dalla stessa parte, come indica la fig. 195, la quale dimostra come un magnete ridotto in pezzi debba presentare la polarità magnetica in ciascun frammento.

E la polarità di una calamita si deve considerare come risultante dalle polarità dei singoli magneti elementari componenti, cioè i due poli di una calamita si debbono considerare come i punti di applicazione delle risultanti delle forze magnetiche dei singoli magneti elementari costituenti il magnete, a quel modo che il centro di gravità di un corpo è il punto di applicazione della risultante dei pesi delle sue molecole.

I due poli sono inseparabili, ed è impossibile ottenere un magnete con un solo polo. Infatti, quando si magnetizza un pezzo di ferro o di acciaio, o si rompe una calamita, si ottengono sempre i due poli.

3. Fenomeni che si spiegano mediante l'induzione e i magneti molecolari. — 1° *La magnetizzazione.* — Nei corpi non magnetizzati i magneti molecolari hanno tutte le direzioni possibili; invece nelle calamite vi sono molti magneti molecolari orientati, cioè coi loro poli nord diretti verso un'estremità e i loro poli sud verso l'altra estremità della calamita, e la magnetizzazione consiste nell'orientamento di un gran numero di magneti molecolari, per guisa che i loro poli sieno rivolti verso le estremità opposte della calamita. Quanto maggiore è il numero dei magneti molecolari orientati, tanto più intenso è il magnetismo.

2° *La forza coercitiva* è la resistenza dei magneti molecolari al loro orientamento. Se le molecole ritornano facilmente da sè nelle primiere posizioni il corpo è magnetizzato solo temporariamente; se esse permangono nelle posizioni acquistate per la magnetizzazione il corpo è permanentemente magnetizzato.

3° *L'attrazione magnetica.* — Quando un pezzo di ferro viene accostato, per es., all'estremità della calamita verso la quale sono rivolti i poli nord dei suoi magneti molecolari, quelli del ferro rivolgono i loro poli sud verso detta estremità, e l'attrazione fra questi poli contrarii più vicini prevale sulla repulsione tra i poli omonimi più lontani ed opposti.

4. Spettro magnetico. — Se si fissa una calamita a ferro di cavallo verticalmente coi suoi poli in alto, e poi si sovrappone su questi un foglio di carta tesa in un telaio, a brevissima distanza dai poli, ma non in contatto di questi, allora setacciando limatura di ferro sulla carta, la si vede disporsi secondo linee

curve che vanno da un polo all'altro (fig. 196). Si favorisce tale disposizione della limatura scuotendo leggermente col dito il foglio.

Lo stesso risultato si ottiene setacciando limatura di ferro su un foglio di carta tesa sovrapposto ad una calamita rettilinea.

Si ha così la esperienza dello *spettro magnetico*.

Per interpretarla si deve osservare che ciascun granello di limatura entrando nello spazio in cui agisce la forza magnetica

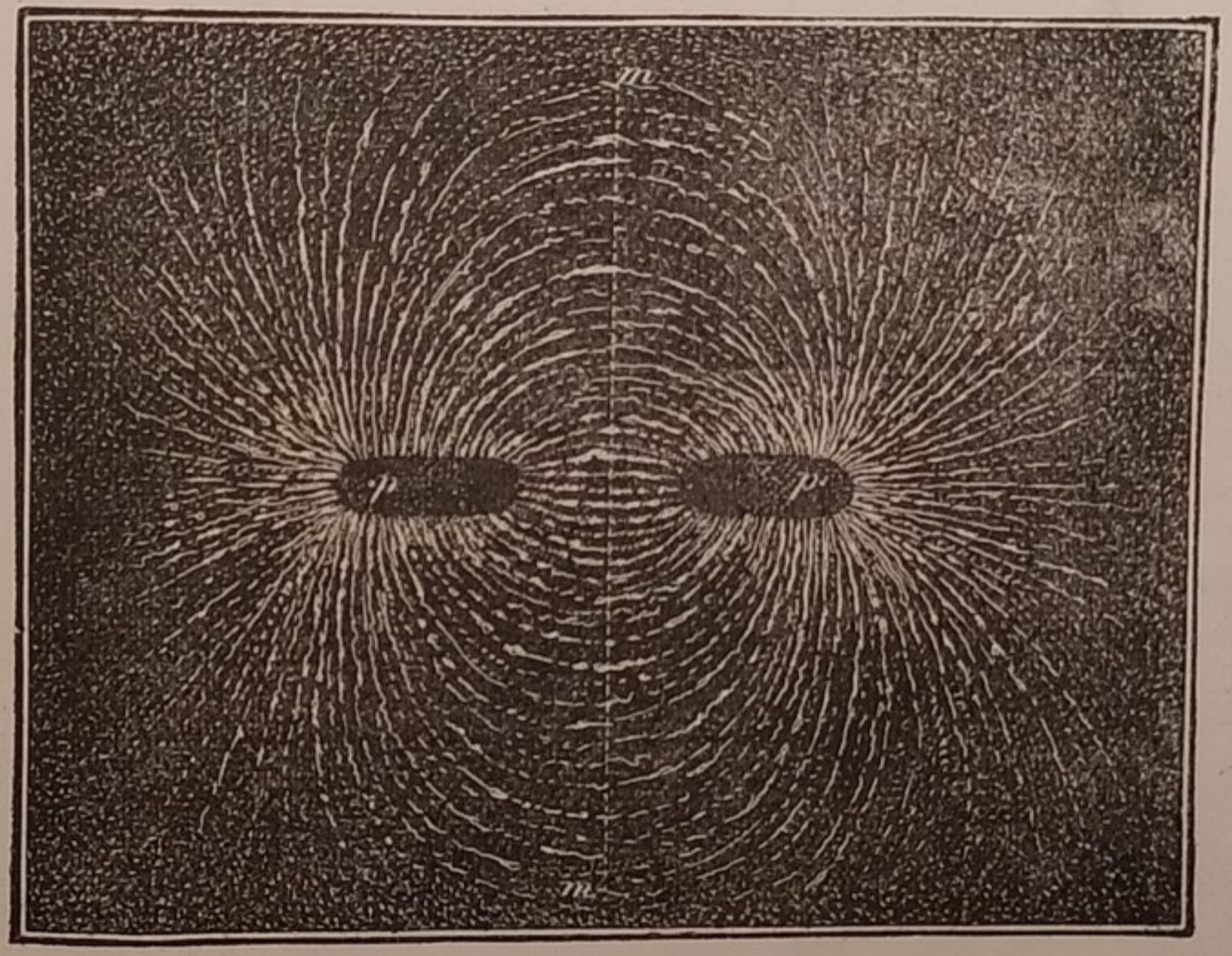


Fig. 196.

dei poli della calamita acquista per induzione la polarità magnetica, e rivolge il suo polo nord verso il polo sud della calamita, ed inversamente, cioè si orienta in modo che la sua lunghezza sia nella direzione della risultante delle forze attrattive e repulsive esercitate sul medesimo dai poli del magnete.

5. Campo magnetico e linee di forza magnetica. — Lo spazio che circonda un magnete, nel quale agisce la forza magnetica, si dice il *campo magnetico* del magnete, e le linee secondo le quali agisce la forza magnetica vennero da Faraday denominate *linee di forza*, e da Maxwel *linee di induzione magnetica*.

L'esperienza dello spettro magnetico manifesta le linee di forza nel piano del foglio. Supponendo che questo giri attorno alla linea dei poli, si avrebbero le linee di forza di tutto il campo magnetico.

Quanto più le linee di forza sono fitte e vicine, tanto più intenso è il campo, ed inversamente.

Seguendo i concetti di Faraday si rappresenta l'*intensità di un campo magnetico* mediante il numero delle linee di forza poste nella regione che si considera.

Un campo magnetico si dice *uniforme* quando le sue linee di forza sono parallele e l'intensità della forza è costante in ogni punto.

Nel caso di una calamita rettilinea si ammette che le linee di forza partano dalla faccia polare nord e vadano all'esterno del magnete alla faccia polare sud, e poi continuino nell'interno del magnete dalla faccia sud alla faccia nord.

6. Permeabilità magnetica. — Il ferro dolce che per induzione si magnetizza subito e fortemente si dice che è dotato di *grande permeabilità magnetica*; invece l'acciaio che, a parità di condizioni, si magnetizza più difficilmente, si dice che ha *minore permeabilità magnetica*.

Il vuoto, l'aria, ed in generale le sostanze praticamente inerti rispetto alle azioni magnetiche, sarebbero (secondo i concetti di Faraday) sostanze *magnetiche* in questo senso che si lasciano attraversare dalle linee di forza, e si ammette che *la loro permeabilità magnetica sia eguale ad uno*.

I corpi detti paramagnetici (ferro, acciaio, ecc.) concentrano le linee di forza più dell'aria e del vuoto, e perciò si dice che *la loro permeabilità magnetica è maggiore di uno*.

I corpi diamagnetici sono quelli che diradano le linee di forza come se le respingessero, e perciò *la loro permeabilità magnetica è minore di uno*.

Generalmente si può dire che *i corpi magnetici sono più permeabili dell'aria o del vuoto per le linee di forza*, ed *i corpi diamagnetici sono meno permeabili*.

§ 66. Leggi delle attrazioni e repulsioni magnetiche.

1. Leggi di Coulomb. — Le leggi relative alla grandezza delle attrazioni e repulsioni magnetiche vennero stabilite (1785) da Coulomb, il quale provò sperimentalmente che: *le attrazioni o repulsioni di due poli magnetici a distanze diverse sono inversamente proporzionali ai quadrati di queste, e che, a parità di distanza, le attrazioni o repulsioni di poli magnetici diversi sono direttamente proporzionali ai prodotti delle loro quantità di magnetismo.*

Queste leggi, manifestamente analoghe a quelle delle attrazioni e repulsioni elettriche, vennero provate sperimentalmente da Coulomb colla sua *bilancia di torsione* (pag. 284), sostituendo alle palline elettrizzate verghette magnetizzate.

2. Unità assoluta delle quantità di magnetismo. — Coulomb determinò il concetto delle quantità di magnetismo, o masse magnetiche, analogamente a quello delle quantità di elettricità, o masse elettriche, mediante le grandezze delle forze che esse esercitano le une sulle altre. *Due poli magnetici si ritengono eguali*, o *dotati di masse magnetiche eguali*, se agendo successivamente sopra uno stesso polo, alla stessa distanza, lo attirano o respingono colla stessa forza. Ma se un polo esercita sopra un altro un'azione attrattiva o repulsiva doppia o tripla di quella esercitata da un terzo polo, alla stessa distanza, si ritiene la massa magnetica del primo, doppia, tripla, ecc., di quella del terzo.

E analogamente a quanto si fa nell'elettrostatica si assume come *unità assoluta delle quantità di magnetismo*, o *delle masse magnetiche, quella che, concentrata in un punto, agisce sopra una massa eguale, posta alla distanza di* 1 cm., *con la forza di una dine.*

3. Espressione algebrica della legge di Coulomb. — Colla detta convenzione, indicando

con m, m' le masse magnetiche di due poli,

» r la loro distanza,

» f la forza attrattiva o repulsiva che agisce fra i medesimi,

il suo valore è espresso dalla formola:

$$f = \pm \frac{m\,m'}{r^2}\,.$$

Si è convenuto di attribuire il segno + alla massa magnetica di un polo nord, e il segno — alla massa magnetica di un polo sud. Tali masse si sommano come quantità algebriche.

§ 67. Magnetizzazione artificiale, fasci magnetici e portata dei magneti.

1. Magnetizzazione temporaria e permanente. — *La magnetizzazione è l'operazione colla quale si comunica il magnetismo a spranghe di ferro o d'acciaio.* Essa consiste nell'orientare il maggior numero possibile di magneti molecolari mediante l'induzione. La massima forza di un magnete si otterrebbe se si potessero orientare tutti i magneti molecolari, e se questi potessero conservare la loro orientazione.

Il magnetismo indotto è in parte *temporario*, e in parte è permanente. Nel ferro dolce è massimo il primo e minimo il secondo; perciò con esso si ottengono calamite temporarie; invece il ferro, e sovratutto l'acciaio temperato, conserva gran parte del magnetismo in esso sviluppato per induzione, e perciò con questo si ottengono i magneti permanenti.

Tanto la magnetizzazione temporaria quanto la permanente si possono generare o con correnti elettriche o con calamite.

Come si ottengono le calamite temporarie mediante la corrente elettrica è già stato esposto (pag. 324).

2. Magnetizzazione permanente colla corrente elettrica. — *Si possono anche generare magneti permanenti mediante le correnti elettriche.* Perciò si prende un rocchetto, cioè un cilindro cavo di legno o cartone, attorno al quale è avvolto ad elica un filo di rame rivestito di cotone o di seta, affinchè le diverse spire non sieno in contatto metallico fra loro, e la corrente non possa passare lateralmente da una spira all'altra, ma sia obbligata a percorrere la lunghezza del filo. Un tale apparecchio (come si vedrà nello studio dei rapporti fra l'elettricità e il magnetismo) possiede la polarità magnetica; e precisamente il capo, guardato di fronte, in cui la corrente circola nel verso del movimento delle lancette di un orologio, è un polo sud, e l'altro ove la corrente circola in verso contrario è un polo nord. Il che si dimostra facilmente ponendo i poli sud e nord di un ago calamitato in vicinanza dei capi del rocchetto; quelli si veggono respinti quando si fa passare la corrente elettrica nel filo di questo.

Ora, se si pone una spranga di ferro dolce in un rocchetto di eguale lunghezza, si vede che quando passa la corrente il polo sud del rocchetto respinge il polo sud dell'ago più energicamente che quando nel rocchetto non vi era la verga di ferro, perchè questa si magnetizza nello stesso senso del rocchetto che la avvolge, e perciò il polo sud dell'ago prova la repulsione dei due poli sud che nascono contemporaneamente nel rocchetto e nel ferro.

Se poi si pone una verga di acciaio in un rocchetto notevolmente più lungo della verga, indi si estrae questa dal rocchetto, la si trova stabilmente magnetizzata.

3. Magnetizzazione colle calamite. — Si distinguono tre metodi di magnetizzazione colle calamite. Per brevità esponesi solo il più usato, detto del *contatto separato*. Si colloca il polo

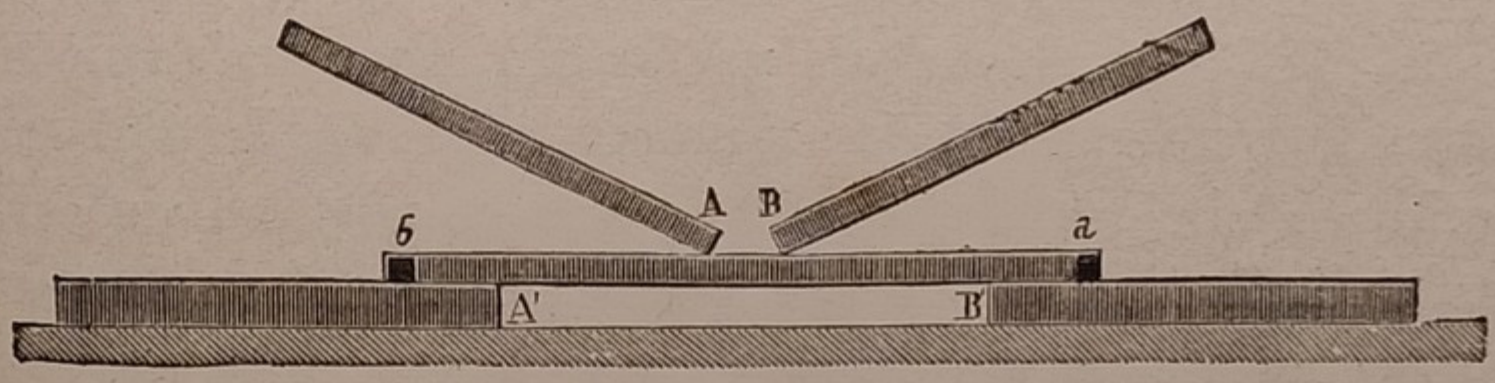


Fig. 197.

di un fòrte magnete permanente, o meglio temporario, sul mezzo della spranga da magnetizzare, lo si fa scorrere verso un'estremità di questa, indi lo si solleva, si porta in alto nuovamente sul mezzo, e si fa nuovamente scorrere verso la medesima estremità. Lo stesso si ripete parecchie volte sempre collo stesso polo e sulle diverse faccie della spranga da calamitare. Indi coll'altro polo magnetico si fa la stessa operazione sull'altra metà della spranga. La metà strofinata col polo nord acquista magnetismo sud e inversamente.

La magnetizzazione riesce migliore appoggiando i capi della spranga da magnetizzare sui poli opposti di due altre calamite (fig. 197).

4. Saturazione magnetica. — La grandezza o intensità del magnetismo permanente che acquista una spranga d'acciaio colla magnetizzazione dipende da quella dei poli magnetizzanti, dal numero dei contatti, dalle dimensioni e dalla forma della spranga, dalla tempera e quantità di carbonio che contiene.

Con una determinata spranga e un determinato polo magne-

tizzante il magnetismo cresce col numero dei contatti, però solo fino ad un certo limite, raggiunto il quale la sbarra si dice *satura di magnetismo*.

Però questo non rimane completamente; il temporario svanisce e resta solo quello permanente, il quale costituisce lo *stato di saturazione* della sbarra, dovuto a quella forza magnetizzante. Una forza magnetizzante maggiore può generare un grado più elevato di magnetizzazione, tuttavia si raggiunge presto un massimo di magnetizzazione che non può essere oltrepassato anche colle più energiche forze magnetizzanti.

Nella magnetizzazione il magnetismo cresce dapprima celeremente, poi sempre meno, cosicchè sovente pochi contatti producono lo stesso effetto di molti.

5. Profondità a cui arriva il magnetismo. — Holtz (1874) e Jamin (1875) studiarono la profondità a cui arriva il magnetismo nelle spranghe d'acciaio immergendole negli acidi solforico o cloridrico, che combinandosi col ferro ne portano via gli strati superficiali. Essi trovarono così, che nelle spranghe più temperate e più ricche di carbonio il magnetismo non penetra neppure fino alla profondità di 0,1 *mm*. Nell'acciaio tenero il magnetismo penetra alquanto più profondamente e la profondità cresce col crescere della forza magnetizzante; diminuisce invece col crescere della durezza e della proporzione del carbonio.

Ad ogni modo, siccome la profondità del magnetismo è sempre assai piccola, perciò sottili lamine di acciaio possono acquistare magnetismo tanto grande quanto lastre grosse, e perciò mediante la riunione di molte lamelle si ottengono i più forti magneti permanenti.

6. Influenza del calore sul magnetismo. — La magnetizzazione temporanea di una sbarra di ferro dolce cresce col crescere della temperatura fino al color rosso; quindi diminuisce fino al colore bianco. Anche gli altri metalli paramagnetici perdono col calore il loro magnetismo temporario, e col raffreddamento riacquistano la proprietà di magnetizzarsi.

I magneti permanenti vengono indeboliti col riscaldamento e ad un certo grado di calore perdono completamente il loro magnetismo; i magneti naturali al color rosso, le sbarre di acciaio già a 350°. L'indebolimento col crescere della temperatura è in parte transitorio, in parte permanente. Questo è massimo nel

primo riscaldamento, diminuisce in ogni successivo, e infine cessa completamente. L'indebolimento transitorio viene ristabilito ad ogni raffreddamento.

7. Influenza delle azioni meccaniche sul magnetismo. — Se una spranga viene scossa mentre che è sotto l'azione di una forza magnetizzante il suo magnetismo cresce; invece gli scotimenti diminuiscono il magnetismo di un magnete che non è sotto l'azione di una forza magnetizzante.

Ha pure molta influenza sul magnetismo la torsione.

8. Fascio magnetico. — Dicesi *fascio* o *magazzino magnetico* (fig. 198) una riunione di lastre calamitate, coi loro poli omonimi vicini, in modo da costituire una calamita più potente di quelle parziali che la compongono.

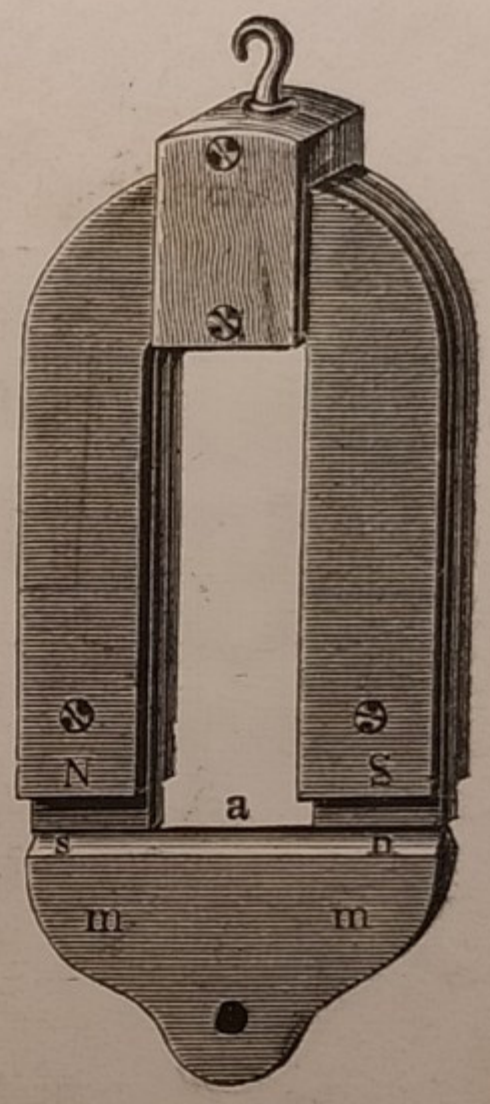


Fig. 198.

Si riuniscono così parecchie lamine calamitate, per costituire potenti calamite, perchè è inutile magnetizzare grosse spranghe di ferro non potendo la magnetizzazione penetrare profondamente.

Anzi, per tale motivo, Jamin costituì magazzini magnetici con molte sottili lamine di acciaio, le quali possono acquistare magnetismo quanto le lastre grosse; cotali magazzini chiamansi *calamite Jamin*.

9. Ancore ed armature. — In contatto coi poli delle calamite si pongono lastre di ferro dolce le quali, magnetizzandosi per induzione con magnetismo contrario nella parte vicina, conservano ed accrescono la polarità del magnete.

Quando queste appendici non sono fissate al magnete, ma si possono staccare, chiamansi *ancore* (*m*, *m* fig. 198), quando invece sono fisse chiamansi *armature* (*fn*, *fs* fig. 199).

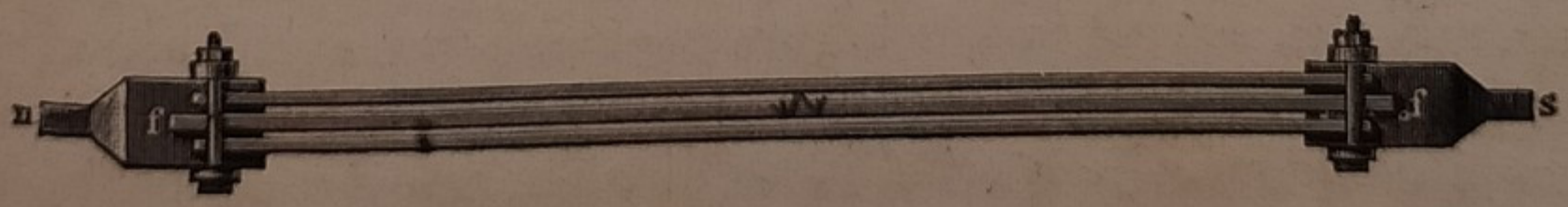


Fig. 199.

In tal caso il polo del magnete a cui è applicata l'armatura viene trasportato nella estremità di questa lontana dal polo.

Se il magnete è rettilineo ciascun polo deve essere provveduto di un'àncora. Perciò le calamite rettilinee si conservano collocandone due parallelamente fra loro coi poli contrarii dalla stessa parte, e applicando a questi àncore di ferro dolce.

Se il magnete è a ferro di cavallo una sola àncora basta per ambi i poli.

Anche i magneti naturali si muniscono di armature, cioè di lastre laterali di ferro dolce (l, l' fig. 200), le quali terminano in due piedi (p, p') che divengono per influenza i poli del magnete, e così possono entrambi attrarre un'àncora di ferro dolce.

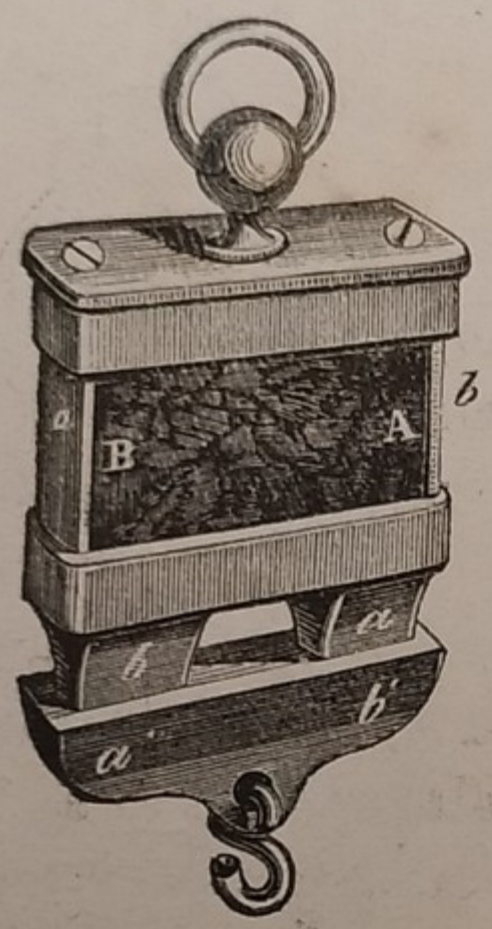


Fig. 200.

Per *non diminuire la forza dei magneti* non devesi mai distaccare l'àncora di fronte ai poli per modo da scuotere il magnete nell'atto del distacco, ma devesi farla scorrere su quelli, e levarla dolcemente di fianco, perpendicolarmente alla lunghezza della calamita e senza scosse.

Non solo pel violento distacco dell'àncora, e per il loro abbandono senza di questa, diminuisce la forza dei magneti, ma ancora per le scosse quando non sono ancorati, e sovrattutto pel riscaldamento.

Invece se la calamita è ancorata gli scuotimenti accrescono il magnetismo, perchè orientano nuovi magneti molecolari.

10. Portata di una calamita. — Chiamasi *portata di una calamita: la forza attrattiva fra la calamita e l'àncora, misurata dal peso che agendo perpendicolarmente alle superfici di contatto dell'àncora colla calamita riesce a staccare l'una dall'altra.*

Essa diminuisce col tempo, specialmente se la calamita riceve degli urti quando non è ancorata, o se rimane a lungo in un campo magnetico anche debole, ma che induce nella medesima una magnetizzazione contraria. Invece si conserva, anzi si accresce, quando la calamita è ancorata, permodochè si può elevare al doppio della grandezza primitiva coll'aggiungere giornalmente un piccolo peso, per es., un granello di piombo, nel suo piattello attaccato all'àncora. Però col repentino distacco di questa la portata si abbassa nuovamente al valore primiero.

§. 68. Il magnetismo terrestre.

1. Azione della terra sugli aghi magnetizzati e sul ferro. — Se in vicinanza di un polo magnetico sud si pongono parecchi aghi magnetici mobili questi rivolgono tutti il loro polo nord verso quel polo sud. Ma la terra orienta le calamite; dunque essa ha la polarità magnetica.

Si è poi veduto (paragr. 64) che un pezzo di ferro posto in contatto, od anche solo in vicinanza, di un polo magnetico, diviene esso stesso una calamita, che ha un polo contrario in vicinanza del polo magnetico e un polo omonimo in lontananza. Ora, se si prende una sbarra, per es., una riga di ferro dolce, e dopo avere provato che non è magnetizzata, la si colloca in posizione verticale, o poco inclinata, si riconosce, mediante un ago calamitato, che essa nel nostro emisfero acquista un polo nord in basso, e un polo sud in alto. Il contrario avviene nell'altro emisfero.

Capovolgendo la sbarra, se essa è di ferro dolce, presenta di nuovo un polo nord in basso e un polo sud in alto.

Se poi si colloca nell'anzidetta posizione un pezzo di ferro temperato, o d'acciaio, e lo si batte con un martello, esso si magnetizza stabilmente, e così pure se lo si lascia cadere in modo che urti il suolo perpendicolarmente. Capovolgendolo, e poi lasciandolo cadere nuovamente, o si diminuisce, o si annulla, o si inverte la sua polarità. Di qui un mezzo per magnetizzare debolmente spranghe di ferro o di acciaio mediante la terra, od anche per distruggere il loro magnetismo mediante urti che tendono a sviluppare magnetismo contrario.

Perciò ancora tutti i ferri più o meno temprati che stanno in posizione presso a poco verticale, siccome le croci dei campanili, i ferri dei fabbri, dei falegnami, le molle, le palette, i portamantelli di ferro, ecc., sono tutti più o meno magnetizzati, e nel nostro emisfero hanno un polo nord in basso, un polo sud in alto; il contrario avviene nell'altro emisfero.

Questi fatti, come pure le calamite naturali, confermano il magnetismo terrestre.

2. Meridiano magnetico. — Nella geografia si denomina

meridiano geografico di un luogo della superficie terrestre un circolo massimo, il quale passa per questo luogo e per i due poli della terra.

Se poi si immagina che il piano di quel circolo massimo della terra sia esteso indefinitamente fino ad incontrare l'apparente volta, o sfera celeste, allora ne risulta un circolo massimo della sfera celeste, che gli astronomi denominano *meridiano astronomico* del luogo.

Ora, nello studio del magnetismo terrestre chiamasi *meridiano magnetico* di un luogo: *il piano verticale passante pei due poli di un ago magnetico mobile orizzontalmente in detto luogo.*

3. Declinazione. — Il meridiano magnetico di un luogo generalmente non coincide col meridiano geografico od astronomico, ma fa un angolo col medesimo. Tale angolo chiamasi *declinazione*. Questa si distingue in *orientale* ed *occidentale*, secondochè il polo nord dell'ago devia ad oriente o ad occidente del meridiano geografico. La 1ª si considera come *negativa*, e la 2ª come *positiva*.

In Italia la declinazione è presentemente occidentale; a Torino è di circa 12°. Diminuisce circa 6′ ogni anno.

Nell'Europa i limiti della declinazione sono — 3° e + 22°; nell'Italia + 8° (estremità orientale) e + 13° (parte più occidentale) circa.

4. Variazioni della declinazione. — *La declinazione varia in uno stesso tempo coi luoghi, e in uno stesso luogo col tempo.*

Le *variazioni della declinazione in uno stesso tempo coi luoghi* consistono in ciò che l'angolo di declinazione varia da un meridiano geografico all'altro.

Per es., la declinazione occidentale che attualmente a Roma è di 11° circa, va crescendo verso occidente, e diminuisce invece verso l'oriente dell'Europa, finchè diviene zero verso il confine dell'Europa coll'Asia, e in questa la declinazione è attualmente orientale.

Le *variazioni della declinazione in uno stesso luogo col tempo* si distinguono dapprima in *regolari* ed *irregolari*, le quali ultime diconsi anche *perturbazioni*.

Le variazioni regolari si distinguono poi in *secolari*, *annue*, *mensili* e *diurne*. Le prime sono quelle che presenta la declina-

zione da un secolo all'altro. Così a Parigi, ove si osserva la declinazione del 1580, si è accertato che in tale anno la declinazione era *orientale*, e di 11° ½ circa, indi andò diminuendo finchè divenne di 0° nel 1663, poscia divenne *occidentale*, e andò crescendo fino al 1814, nel quale anno arrivò a 22° ½ circa; da quell'epoca diminuisce, di circa 8′ all'anno, cosicchè dovrebbe di nuovo essere nulla nel 1985 circa.

Le *variazioni annue* consistono in piccole variazioni della declinazione che si manifestano nel periodo di un anno. Esse sono meno ben conosciute di quelle diurne.

Infine la *declinazione varia regolarmente nel corso del giorno*, ma sempre meno di 0°,10′; il polo nord dell'ago si sposta alquanto verso occidente quando il sole è ad oriente, ed inversamente, come se fuggisse il sole nel suo moto apparente diurno attorno alla terra. Pare che su queste *variazioni diurne* influisca anche un poco la luna.

Le *variazioni accidentali*, o *perturbazioni*, consistono in piccoli e repentini spostamenti delle calamite mobili, verso est od ovest, prodotti dalle aurore polari, dai terremoti, dalle eruzioni vulcaniche e dai temporali. Tale irrequietezza dell'ago è indizio di una *burrasca magnetica*, la quale accompagna sempre i detti fenomeni, e sovratutto le aurore polari Però l'ago non si muove solo nei luoghi in cui si vede l'aurora, ma ancora in altri in cui essa non è visibile. Ma le deviazioni in generale sono tanto più grandi quanto più vicino e più intenso è il fenomeno.

La frequenza delle perturbazioni e la loro intensità, la variazione diurna e la frequenza delle aurore polari raggiungono un *massimo* ogni 11 anni, quasi in coincidenza col massimo delle macchie solari.

Questi fenomeni sono oggidì studiati regolarmente in molti osservatorii magnetici.

5. Linee isogone e poli magnetici. — Le linee che passano pei luoghi di eguale declinazione si dicono *isogone*, e si distingue ancora col nome di *agone* la linea che passa pei luoghi di declinazione nulla, lungo la quale cioè il meridiano magnetico coincide col geografico.

Le carte delle linee isogone si dicono *carte magnetiche*.

Queste linee hanno in generale la direzione nord-sud, ma non coincidono coi meridiani, e concorrono al nord e al sud in due punti che diconsi

poli magnetici terrestri, i quali non coincidono coi poli geografici. Di più le linee isogone passano pure pei poli geografici.

La fig. 201 rappresenta una carta delle linee isogone, pel 1860, fra l'80° di latitudine nord e il 60° di latitudine sud. Quelle di declinazione occidentale sono rappresentate da linee continue, e quelle di declinazione orientale da linee punteggiate, mentre l'agone è segnato da due linee continue più grosse, le quali si debbono immaginare prolungate fino ai poli magnetici, in modo da costituirne una sola continua.

Il polo magnetico dell'emisfero nord (segnato sulla carta da un cerchietto bianco in cui concorrono molte linee isogone), giace fra l'America del Nord e il polo geografico nord, ad ovest della penisola detta *Boothia Felix*, a circa 20° dal polo geografico nord.

Il polo magnetico dell'emisfero sud (non segnato sulla carta, ma la cui posizione è nel punto in cui concorrono le isogone al sud della Nuova Olanda od Australia) giace a circa 16° dal polo geografico sud, tra la terra Vittoria e il paese di Vilke, presso i vulcani Erebus e Terror.

Le linee isogone vanno da un polo magnetico all'altro passando per i poli geografici, e deviando più o meno dai meridiani geografici.

Dietro quanto si è detto intorno alle variazioni secolari del magnetismo terrestre, risulta che la posizione delle linee magnetiche deve mutare poco a poco, come infatti si verifica, e perciò anche i poli magnetici della terra mutano posizione.

Nei poli magnetici l'ago di declinazione non prende un'orientazione determinata, ma si trova in equilibrio indifferente attorno al suo perno verticale, come se fosse un pezzo di ottone o di altro corpo non magnetizzato.

6. L'agone, cioè la linea di declinazione zero, è assai irregolare. Una parte di esso dal polo magnetico nord si dirige al polo geografico sud attraverso la parte orientale delle due americhe; l'altra parte va dal polo geografico nord al polo magnetico sud attraverso lo Spitzbergen, la Lapponia, il Caucaso, l'Oceano indiano, ove piega notevolmente verso est e percorre la parte occidentale della Nuova Olanda od Australia. Queste due parti dell'agone sono riunite al nord, fra il polo magnetico nord e il polo geografico nord, da una linea lungo la quale il meridiano magnetico coincide con quello geografico, ma l'estremità nord dell'ago è rivolta verso il polo magnetico nord, cioè verso il sud, e quindi la declinazione è di 180°; e al sud, fra il polo magnetico e quello geografico, le due parti dell'agone sono riunite da una linea lungo la quale l'ago sta pure nel meridiano astronomico, ma dirige il polo nord verso il polo magnetico sud, cioè verso il nord, e la declinazione deve pure ritenersi 180°.

Esso divide la superficie terrestre in due parti assai disuguali; la minore contiene l'Europa, l'Africa e l'Oceano Atlantico con declinazione occidentale; la maggiore comprende l'Asia, gran parte dell'Australia, il grande Oceano e gran parte dell'America con declinazione orientale. La declinazione cresce dall'agone verso est e verso ovest.

Però nell'Asia orientale, internamente ad un piccolo agone chiuso (segnato sulla carta con una linea bianca più grossa), la declinazione è nuovamente

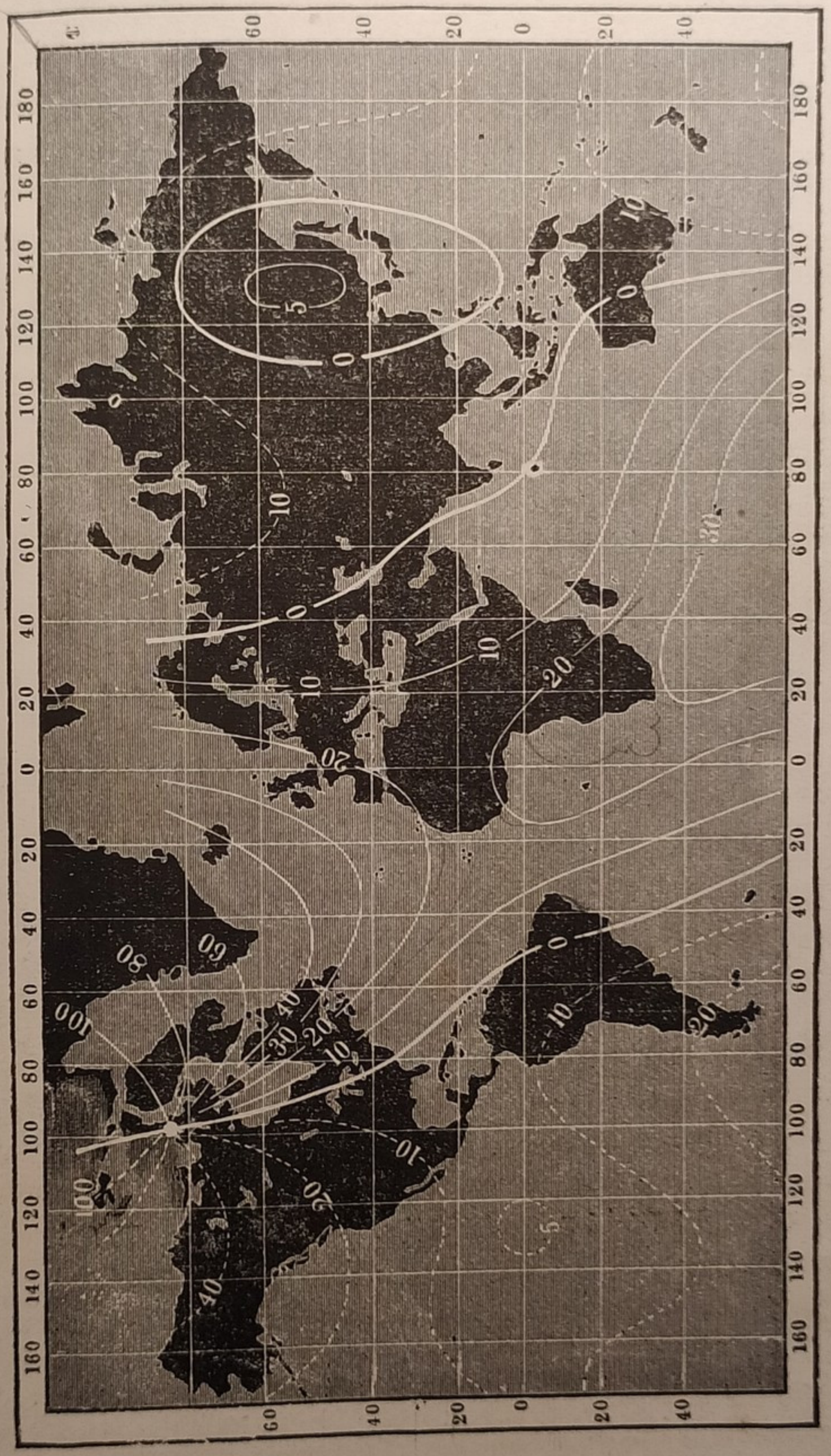


Fig. 201.

Declinazione pel 1860.

alquanto occidentale.

Tali carte sono assai utili ai naviganti, perchè indicano in ciascun punto

Però nell'Asia orientale, internamente ad un piccolo agone chiuso (segnato sulla carta con una linea bianca più grossa), la declinazione è nuovamente

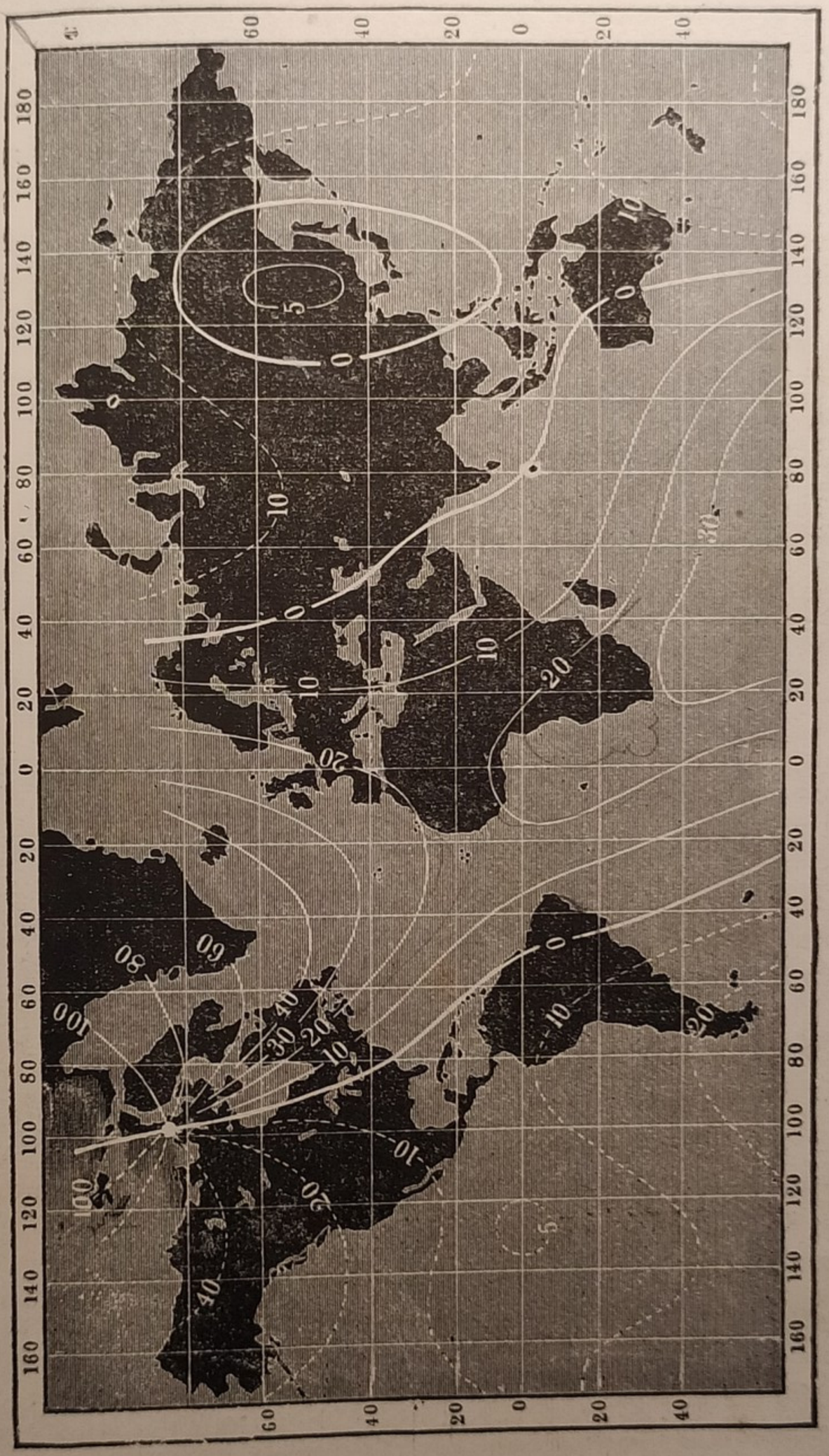


Fig. 201. Declinazione pel 1860.

alquanto occidentale.

Tali carte sono assai utili ai naviganti, perchè indicano in ciascun punto

del globo l'angolo dell'ago magnetico col meridiano, e permettono così di riconoscere la vera direzione nord-sud.

7. Inclinazione. — L'ago magnetico di declinazione sospeso su di una punta verticale può solo girare in un piano orizzontale. Ma se si sospende un ago in modo che sia completamente mobile attorno al suo centro di gravità, il che si ottiene facendolo attraversare in tale punto da un asse perpendicolare alla lunghezza dell'ago e sostenendo l'asse mediante una staffa sospesa ad un filo senza torsione (fig. 202), allora succede che mentre prima della magnetizzazione l'ago stava orizzontale, dopo la magnetizzazione esso non rimane più orizzontale, ma si inclina col polo nord in basso nel nostro emisfero boreale, e lasciato libero si dispone in modo che il suo asse sia nel meridiano magnetico.

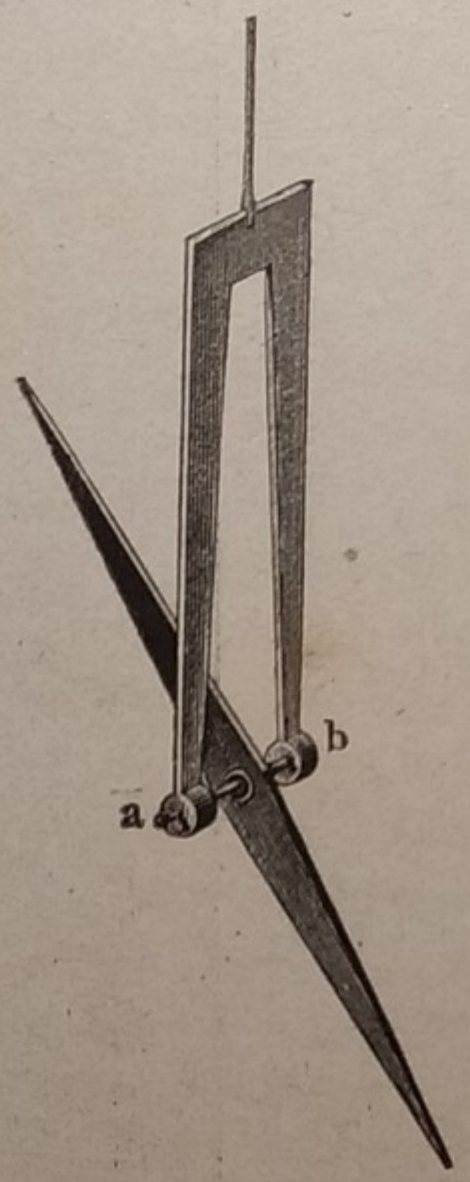


Fig. 202.

L'angolo che l'asse di un ago magnetico, liberamente mobile nel piano verticale del meridiano magnetico, fa coll'orizzonte chiamasi angolo d'inclinazione.

L'inclinazione si considera positiva o negativa secondochè il polo nord è al di sotto o al di sopra dell'orizzontale condotta per il centro dell'ago.

A Torino l'inclinazione è attualmente di circa 62°.

8. Variazioni dell'inclinazione. Equatore magnetico. — L'*inclinazione, come la declinazione, varia in uno stesso luogo col tempo, e in uno stesso tempo coi luoghi.*

Le *variazioni della inclinazione in uno stesso tempo coi luoghi* si distinguono in *regolari* ed *irregolari*, come quelle della declinazione.

A Parigi, ove essa si osserva dal 1671, è andata finora sempre decrescendo da 75° a 65° circa.

Le *variazioni della inclinazione in uno stesso tempo coi luoghi* consistono in ciò che in ciascun emisfero essa cresce verso il polo magnetico, ove diviene massima, cioè di 90°, e decresce verso l'equatore. Però essa è opposta nei due emisferi.

Le linee che passano pei luoghi di eguale inclinazione si dicono *isocline*, e si distingue col nome di *equatore magnetico* l'isoclina in cui l'inclinazione è nulla, cioè l'ago sta orizzontale.

Le linee isocline hanno le direzioni est-ovest, ma in generale, non sono parallele ai paralleli terrestri, e l'equatore magnetico non coincide coll'equatore geografico, ma lo interseca in due punti, l'uno nel golfo di Guinea (costa occidentale dell'Africa), l'altro verso il mezzo del Pacifico, e si allontana da esso di circa 13° verso sud, nel Brasile, e di quasi altrettanto verso nord, nel golfo di Aden. Al nord di esso l'inclinazione è positiva, al sud è negativa.

In Italia l'inclinazione è compresa all'incirca fra + 52° (punta più meridionale della Sicilia), e + 62°,30′ (Bormio).

9. Effetto dell'inclinazione sull'ago di declinazione. — Perchè un ago magnetico si mantenga orizzontale su una punta verticale, come l'ago di declinazione, bisogna fare equilibrio alla forza che tende ad abbassare il polo nord (nell'emisfero boreale) mediante un contrappeso dalla parte del polo sud, ovvero diminuire alquanto il peso dalla parte del polo nord che tende ad abbassarsi, il che si ottiene anche facendo in modo che il punto di sospensione non sia perfettamente sulla verticale passante pel centro di gravità, ma sia alquanto da una parte di tale centro, verso il polo nord.

10. Coppia magnetica terrestre. — Siccome il peso dell'acciaio non varia colla magnetizzazione si deve concludere che le forze magnetiche del globo terrestre non hanno una risultante unica verticale, perchè se questa esistesse la magnetizzazione modificherebbe il peso. E siccome una calamita mobilissima su un galleggiante di sughero non si muove orizzontalmente si deve pure concludere che le dette forze non hanno una risultante unica orizzontale.

Infine, dalla mancanza di una risultante unica verticale ed orizzontale, si deve pure concludere la mancanza di una risultante unica inclinata, perchè questa produrrebbe lo stesso effetto di due componenti, una verticale, l'altra orizzontale.

Invece l'azione magnetica della terra sulle calamite si riduce ad una *coppia*, cioè ad un sistema di due forze parallele eguali e contrarie. Infatti, ciascun polo terrestre esercita un'azione attrattiva su un polo della calamita e repulsiva sull'altro. Tali azioni provenienti da un medesimo polo terrestre si possono considerare come uguali e parallele, perchè le distanze dei poli magnetici terrestri da quelli di una calamita sono enormemente grandi rispetto alle dimensioni di questa. Ora, componendo fra loro le due forze che agiscono su ciascun polo della calamita, le quali sono due a due eguali e contrarie, si ottengono pure due risultanti eguali e contrarie, che costituiscono la *coppia magnetica terrestre*.

Siccome poi una calamita sospesa in modo che possa liberamente orientarsi nello spazio attorno al suo centro di gravità, tanto in un piano verticale quanto in un piano orizzontale, assume la direzione dell'ago d'inclinazione, così si deve concludere che le forze della coppia hanno appunto la direzione che prende spontaneamente l'ago di inclinazione.

11. Bussola terrestre. — La bussola terrestre consiste in un ago magnetico mobile su di un perno collocato nel centro di un cerchio graduato, il quale serve ad indicare la posizione dei punti cardinali dell'orizzonte, quando si conosce la declinazione del luogo.

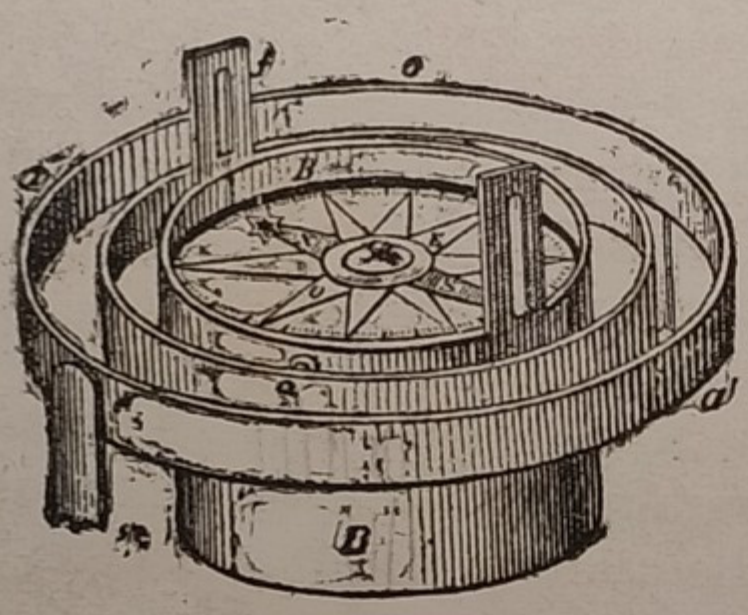


Fig. 203.

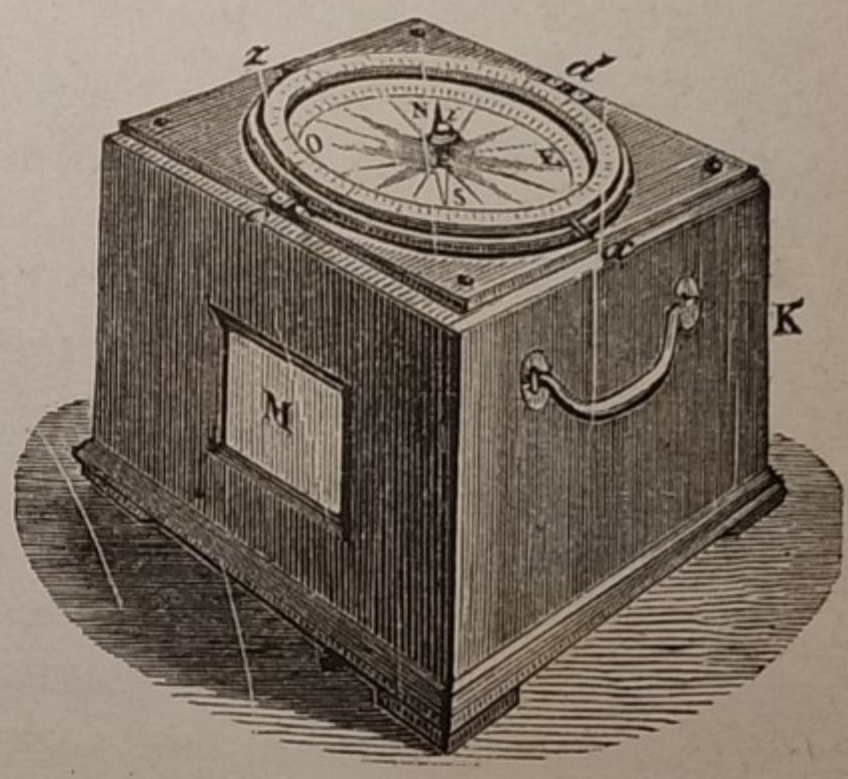


Fig. 204

L'ago di declinazione è anche usato nella *bussola agrimensoria* e nella *bussola del minatore*.

12. Bussola marina. — La bussola marina, che dai naviganti viene detta *compasso*, consiste in una calamita mobile su di un perno verticale, alla quale è fisso superiormente un cerchio orizzontale di mica o di cartone, su cui è segnata la *rosa dei venti* (fig. 203 e 204). Così questa viene mantenuta dall'ago sempre orientata malgrado le rotazioni della nave.

Affinchè il perno dell'ago conservi la posizione verticale malgrado le inclinazioni della nave, la scatola, sul cui fondo è fissato il perno, è zavorrata con piombo, ed è sostenuta mediante una sospensione cardanica, cioè un sistema di due anelli sospesi su due perni orizzontali perpendicolari l'uno all'altro.

A bordo delle grandi navi in cui le scosse sono poco sensibili, le *rose* così sospese nell'aria conservano una stabilità di orienta-

zione sufficiente; ma non è lo stesso sulle piccole navi. Per rimediare a tale inconveniente si sono inventate le *bussole a liquido*, nelle quali la scatola è ripiena d'acqua mescolata con un poco di alcool per impedirne la congelazione. La *rosa*, immersa nel liquido, non gravita che poco sul suo perno, e le sue oscillazioni anormali sono impedite dall'attrito col liquido.

Anzi nelle bussole moderne delle navi sonvi parecchie verghe magnetiche parallele, perchè tali sistemi dànno risultati più sicuri.

Infine, la scatola è fissata in modo che una *linea di mira* o *di fiducia* (*xz* fig. 204) si trovi nella direzione della *chiglia*, o spigolo inferiore della nave, secondo la quale essa viene mossa dalla forza motrice.

Ora, siccome girando il timone a destra o a sinistra della lunghezza della nave si fa girare questa a destra o a sinistra, così si può collocare la linea di fiducia e quindi la chiglia della nave nella direzione di quel diametro della *rosa dei venti* secondo il quale essa deve procedere per giungere alla meta.

Quindi per navigare in una data direzione della *rosa dei venti* orientata dall'ago, basta che il timoniere governi il timone in modo che la linea di fiducia, e perciò la chiglia della nave, sia in quella direzione.

Inoltre, per le variazioni della declinazione coi luoghi, per dirigersi colla bussola, sono necessarie carte magnetiche, che facciano conoscere esattamente la declinazione nei diversi luoghi, affinchè il navigante ne possa tenere conto nell'orientazione della nave.

L'influenza delle lastre di acciaio delle navi corazzate sulle bussole si compensa mediante masse di ferro opportunamente disposte in vicinanza.

Il fulmine, cadendo vicino ad un ago, può smagnetizzarlo e perfino invertire il suo magnetismo; il che, se avviene senza che il pilota lo avverta, può essere cagione di gravi errori.

Anche il terremoto può produrre alterazioni negli aghi magnetici.

§. 69. La corrente elettrica.

1. Stato elettrico che assumono i metalli nell'acqua acidula. — Se due lastre, una di rame (C fig. 205), l'altra (Z) di zinco del commercio, vengono parzialmente immerse nell'acqua acidula, il rame meno intaccato acquista esternamente l'elettricità positiva e lo zinco più intaccato acquista l'elettricità negativa.

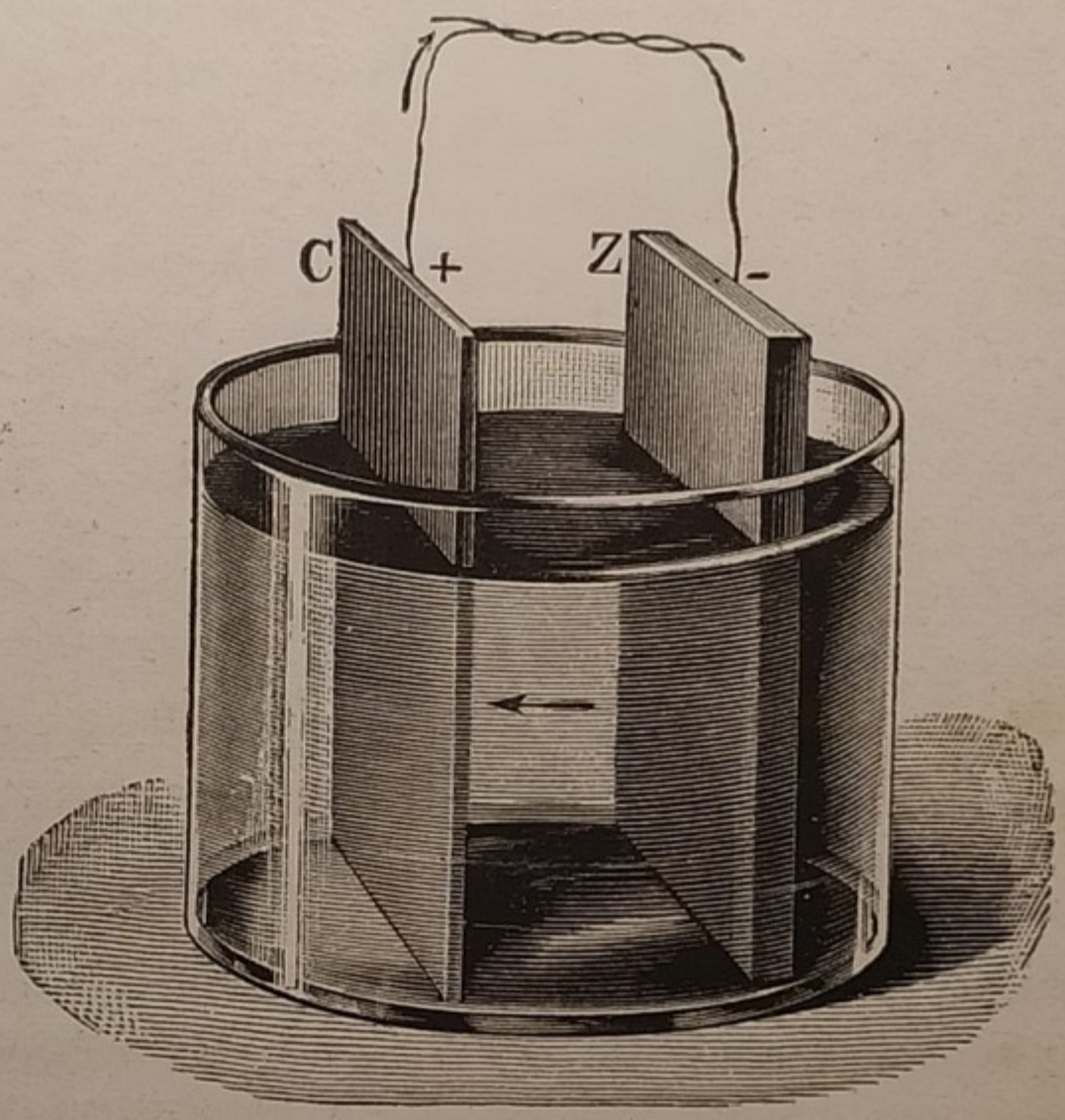


Fig. 205.

Ed in generale: *Se due metalli diversi vengono parzialmente immersi nell'acqua acidula, quello più intaccato dal liquido acquista all'esterno uno stato elettrico negativo, e quello meno intaccato acquista uno stato elettrico positivo, e la differenza del livello elettrico dei due metalli è tanto maggiore quanto maggiore è la differenza dell'azione chimica del liquido sui medesimi.*

Prova sperimentale. — Il fatto enunciato si può provare sperimentalmente mediante un elettroscopio condensatore.

Perciò si immergono dapprima nell'acqua acidula le due lastre isolate fra loro (cioè non comunicanti mediante filo metallico come quelle della fig. 205). Indi si mettono in buona comunicazione

l'una col piatto inferiore (il collettore) e l'altra col piatto superiore (il condensatore) dell'elettroscopio (pag. 316).

Dopo parecchi minuti si interrompono le comunicazioni dei bracci colle lastre, si solleva il disco superiore, e si vedono le foglie dell'elettroscopio divergere. Infine con un bastone di vetro elettrizzato positivamente, e uno di ceralacca elettrizzato negativamente, si riconosce che le foglie divergono per elettricità positiva, se il collettore fu in comunicazione col rame che è meno intaccato, e per elettricità negativa se fu in comunicazione collo zinco che è più intaccato dall'acqua acidula.

Se invece di zinco e rame si immergono nell'acqua acidula due lastre, una di zinco che è assai intaccato, l'altra di platino che non è intaccato, la divergenza delle foglie dell'elettroscopio risulta alquanto maggiore che non collo zinco e rame.

Se invece si accoppia una lastra di platino e una di rame che è meno intaccato dello zinco, si trova: 1° che il rame più attaccato del platino prende l'elettricità negativa e questo la positiva; 2° che l'elettricità negativa del rame in coppia col platino è meno sensibile di quella dello zinco in coppia col platino.

Infine se si accoppiano due lamine identiche, cioè dello stesso metallo e della stessa qualità, non si trova elettricità.

Si ottengono gli stessi risultati ponendo una delle lastre in comunicazione col collettore e l'altra in comunicazione col suolo, invece di metterla in comunicazione col disco condensatore, purchè anche questo sia in comunicazione col suolo. Ciò dimostra che la differenza di livello elettrico che si stabilisce fra le lastre metaliche in contatto coll'acqua acidula è sempre la stessa, sia che sieno isolate, o che una di esse comunichi col suolo, nel qual caso essa acquista il livello elettrico zero.

Inoltre si verifica che questa differenza di livello elettrico dipende solo dalla natura dei metalli e dei liquidi e non dall'estensione delle superfici delle lastre metalliche.

2. Corrente elettrica. — A quel modo che ponendo in comunicazione mediante un tubo due recipienti contenenti uno stesso liquido a diverso livello, nasce una corrente liquida che va dal recipiente in cui il livello è più elevato a quello in cui il livello è più basso, la quale corrente si mantiene costante se la differenza di livello vien mantenuta costante, così pure, quando si

mettono in comunicazione mediante un filo conduttore due corpi conduttori, il cui livello elettrico è diverso, nasce nel filo una *corrente elettrica* diretta dal corpo il cui livello elettrico è più elevato a quello in cui è più basso, la quale corrente si mantiene costante se è costante la differenza di livello elettrico dei due corpi.

Ora, siccome due lastre, una di rame e l'altra di zinco, parzialmente immerse nell'acqua acidula, posseggono un livello elettrico differente, perciò se si congiungono mediante un filo conduttore si stabilisce in questo una corrente elettrica, la quale si manifesta coll'arroventamento di un filo di platino che congiunge esternamente le due lastre, se queste sono abbastanza grandi, e il filo è corto e sottile. Però l'arroventamento dura pochi minuti perchè tale corrente si indebolisce rapidamente, come si dirà in seguito.

3. Coppia elettromotrice. Poli. Reofori. — Si è già detto che si dà il nome di *forza elettromotrice* alla forza che tende a muovere l'elettricità da un punto ad un altro, e che essa nasce da una differenza di livello elettrico fra i due punti.

Un apparecchio capace di sviluppare forza elettromotrice chiamasi *coppia elettromotrice*. Così due lastre, una di rame e l'altra di zinco, immerse parzialmente nell'acqua acidula, costituiscono una coppia elettromotrice.

Il punto donde parte la corrente dicesi *polo positivo*, e quello per cui la corrente rientra nella coppia dicesi *polo negativo*. Così nella coppia rame, zinco e acqua acidula, l'estremità esterna del rame è il polo positivo e l'estremità esterna dello zinco è il polo negativo.

La forza elettromotrice di una coppia è proporzionale alla differenza di livello elettrico dei due poli.

Per far circolare la corrente di una coppia elettromotrice all'esterno si attaccano ai due poli due fili conduttori, che diconsi *reofori* (da *reos*, corrente, e *fero*, io porto). Se questi vengono messi in contatto, permodochè la corrente possa circolare nei medesimi e nella coppia, il circuito si dice *chiuso*, se no è *aperto* e la corrente non circola.

§. 70. Cenni storici sulla invenzione della pila di Volta.

1. Prima esperienza di Galvani. — Intorno alla causa prima della corrente elettrica i fisici non sono ancora perfettamente d'accordo, e la lotta dura fin dal tempo delle prime scoperte. Luigi Galvani, professore di anatomia a Bologna, aveva collocato (1789) ranocchi scorticati su di una tavola in vicinanza di una macchina elettrica, per fare esperienze intorno alla azione della elettricità sul corpo degli animali. Ad un tratto, l'attento silenzio degli astanti venne interrotto da una esclamazione di meraviglia: *le morte rane si contraevano e davano segni di novella vita.* Venne tosto osservato che ciò succedeva quando si traevano scintille da una vicina macchina elettrica.

Per osservare tali contrazioni si taglia il corpo di una rana viva fra le estremità anteriori e posteriori, indi si scorticano queste in modo che restino unite ad un pezzo di colonna vertebrale per mezzo dei due cordoncini bianchi che si trovano ai lati di quella, i quali sono i nervi lombari (fig. 206). Infine per questi si sospende la rana così preparata ad un uncino di rame o di zinco, comunicante col suolo, e si dispone a non grande distanza da essa una macchina elettrica. Allora si vede la rana contrarsi ad ogni scintilla che si ottiene dalla macchina.

Tali contrazioni sono semplicemente l'effetto del così detto *contraccolpo*. La rana, come tutti i corpi non troppo lontani dalla macchina elettrica, viene elettrizzata per induzione, e ad ogni scarica di quella ritorna repentinamente allo stato naturale. Ma nel repentino ritorno dei corpi indotti allo stato naturale avviene un movimento dell'elettricità, o scarica elettrica, nei medesimi. Ora i muscoli della rana recentemente scorticata si contraggono per le minime scariche, e costituiscono un sensibile elettroscopio.

Galvani che non conosceva il fenomeno del contraccolpo, causa delle contrazioni della rana, attribuì le medesime all'elettricità animale, eccitata dalla scintilla.

2. Seconda esperienza di Galvani. — Allora volle egli provare se anche l'elettricità dell'aria esercitasse la medesima influenza sull'elettricità animale. Sospese perciò più coscie di rane, con filo di rame, ad una ringhiera di ferro, e osservò che si manifestavano pure contrazioni ogni qualvolta una delle gambe di una rana, così sospesa, toccava per caso uno dei ferri verticali della ringhiera, nel qual modo veniva chiuso un circuito col ferro, il filo di rame, e il corpo della rana.

E siccome l'aria non era punto elettrizzata, perciò Galvani ammise che l'elettricità si trovasse nel corpo stesso della rana; ed esperimentando trovò che nascono vive contrazioni in quello, ogniqualvolta si pongono i nervi

lombari in comunicazione coi muscoli della coscia, o della gamba, per mezzo di un arco composto di due metalli come rame e zinco (fig. 206). Anzi le contrazioni avvengono anche toccando coll'arco bimetallico due punti diversi del solo nervo, ovvero anche la coscia e la gamba senza toccare il nervo.

Il che succede, secondo i seguaci della così detta *teoria chimica* della corrente elettrica, perchè ogniqualvolta viene chiuso il circuito costituito dai due metalli e dal corpo della rana circola in questo l'elettricità sviluppata per l'azione chimica degli umori del medesimo sui metalli che vengono con esso a contatto.

Se si chiude il circuito con un solo metallo, toccando, per es., con filo di rame, o di zinco, il nervo lombare ed il muscolo della rana, le contra-

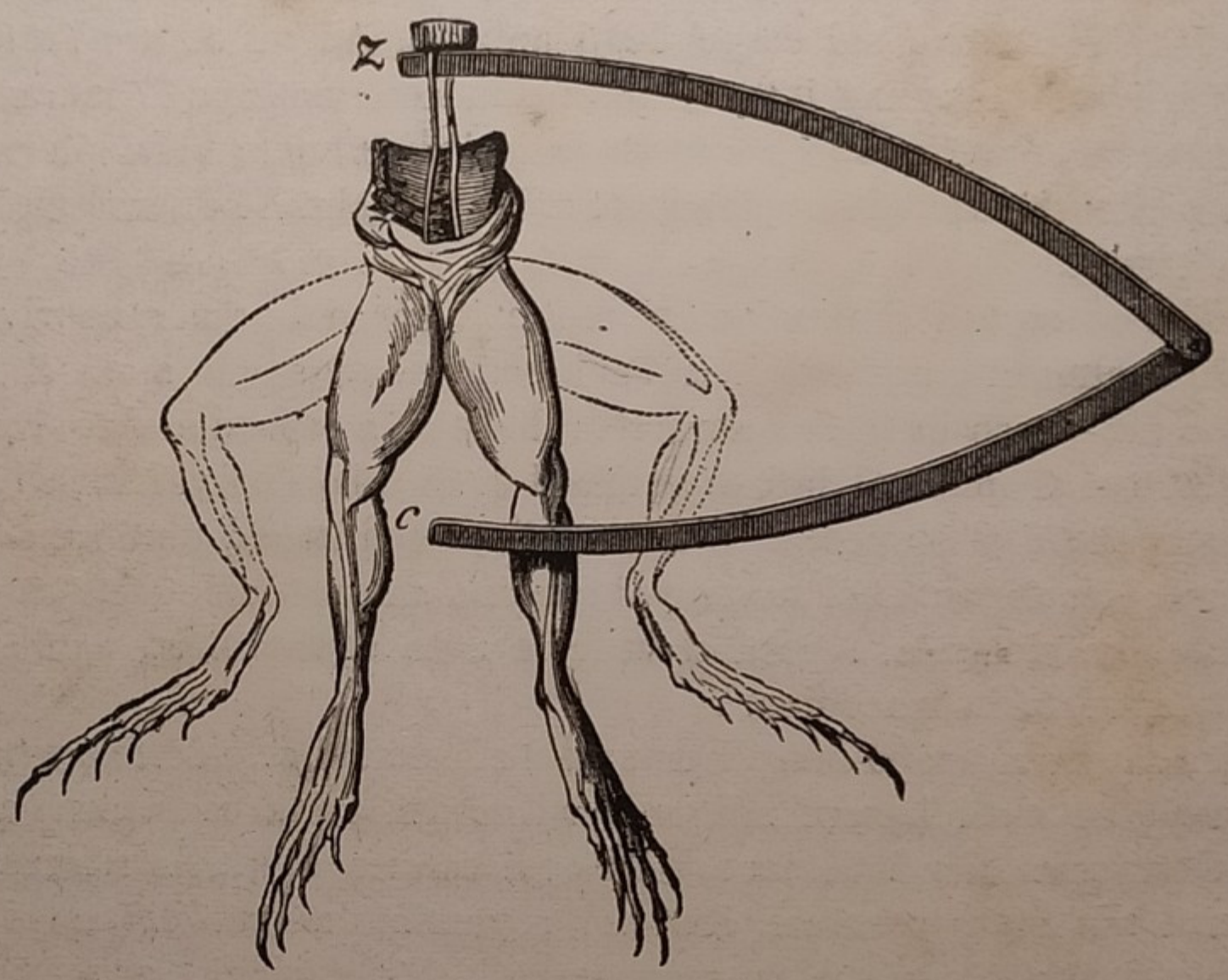


Fig. 206.

zioni, o sono deboli assai, o mancano affatto. Il che è effetto di una più debole circolazione di elettricità, conseguenza di una più debole differenza di stato elettrico fra le due estremità del *medesimo metallo* in contatto con due corpi tuttavia diversi, il nervo ed il muscolo.

Galvani invece ritenne tali contrazioni come manifestazioni dell'elettricità animale; egli ammise che questa fosse contraria nei muscoli e nei nervi alla guisa delle due armature di una bottiglia di Leyda, e che per mezzo dell'arco metallico venisse determinata la scarica come nella bottiglia.

Malgrado gli errori delle spiegazioni di Galvani nacque dalle sue osservazioni una nuova scienza, che ha immortalato il suo nome, e perciò l'elettricità che genera la corrente elettrica venne in suo onore detta *galvanica*.

3. Ipotesi di Volta. — Proseguì con amore lo studio di tali fenomeni Alessandro Volta, professore di fisica a Como, e poscia all'Università di Pavia (1794). Egli, considerando il fatto che le contrazioni del ranocchio

sono assai deboli ed irregolari, o mancano affatto, quando si chiude il circuito con un arco composto di un solo metallo, anzichè con due, fu indotto a congetturare che *l'elettricità, anzichè preesistere nel corpo del ranocchio, nascesse dal contatto dei due metalli rame e zinco,* e ricercò con somma cura le prove sperimentali di tale sua congettura, le quali egli eseguì col suo elettroscopio condensatore, riuscendo così a dimostrare che per il contatto il *rame* si elettrizza *negativamente* e lo *zinco positivamente.*

Dapprima Volta credette che solo pel contatto dei metalli fra loro nascessero le due elettricità; ma poi, quando Galvani dimostrò che le contrazioni del ranocchio avvengono anche quando si pone in comunicazione il nervo col muscolo mediante un arco di un solo metallo, allora egli ammise che anche pel contatto dei metalli coi liquidi nasce l'elettricità, e giunse a dimostrarlo in generale, mediante uno speciale condensatore, il così detto *duplicatore.* Egli trovò che le lastre isolate di zinco, rame, argento, stagno, in contatto con legno umido acquistano l'elettricità.

Anzi, quando Galvani dimostrò che si ottenevano contrazioni nel ranocchio anche senza intervento dei metalli, ma solo pel contatto del nervo colla superficie laterale del muscolo, Volta generalizzò il suo principio, e stabilì che: *pel contatto dei corpi eterogenei si sviluppano le due elettricità.*

Malgrado le obbiezioni della teoria chimica esperienze posteriori hanno dimostrato esser vero il principio di Volta, dal quale scaturì l'invenzione della *sua pila a colonna.*

4. Risultati sperimentali posteriori a quelli di Volta. — Le esperienze posteriori di Becquerel (1824), Pfaff (1844), Buff (1842) ed altri dimostrarono: 1° *che in generale un metallo in contatto con un liquido prende l'elettricità — e il liquido la +; 2° che l'elettricità — che acquista un metallo in contatto con un liquido è tanto più intensa quanto è più intaccato da questo.* Così lo zinco, il piombo, lo stagno, il ferro, in contatto coi liquidi che li intaccano, divengono fortemente elettro —, ed invece il rame, il platino, l'oro, il carbone, in contatto coi liquidi che meno li intaccano, divengono meno intensamente elettro —, e talvolta perfino elettro +.

§. 71. La pila di Volta e le sue modificazioni.

1. Coppia elettromotrice di Volta. — Una coppia elettromotrice di Volta è costituita da due dischi, uno di rame, l'altro di zinco, separati da un disco di panno bagnato di acqua acidula. Il rame è il polo +, e lo zinco il polo — della coppia, come nella coppia elettromotrice di cui si è già parlato. Il che si può provare mediante l'elettróscopio condensatore.

2. Pila di Volta. — Se al di sopra della prima coppia se ne pone una seconda e poi una terza, e così di seguito, in modo

che lo stesso metallo sia sempre al disopra o al disotto dell'altro, come nella prima, risulta l'importantissimo apparecchio inventato da Volta nel 1800, ch'egli chiamò *pila* dalla sua forma di colonna (fig. 207) che in latino denominasi *pila*.

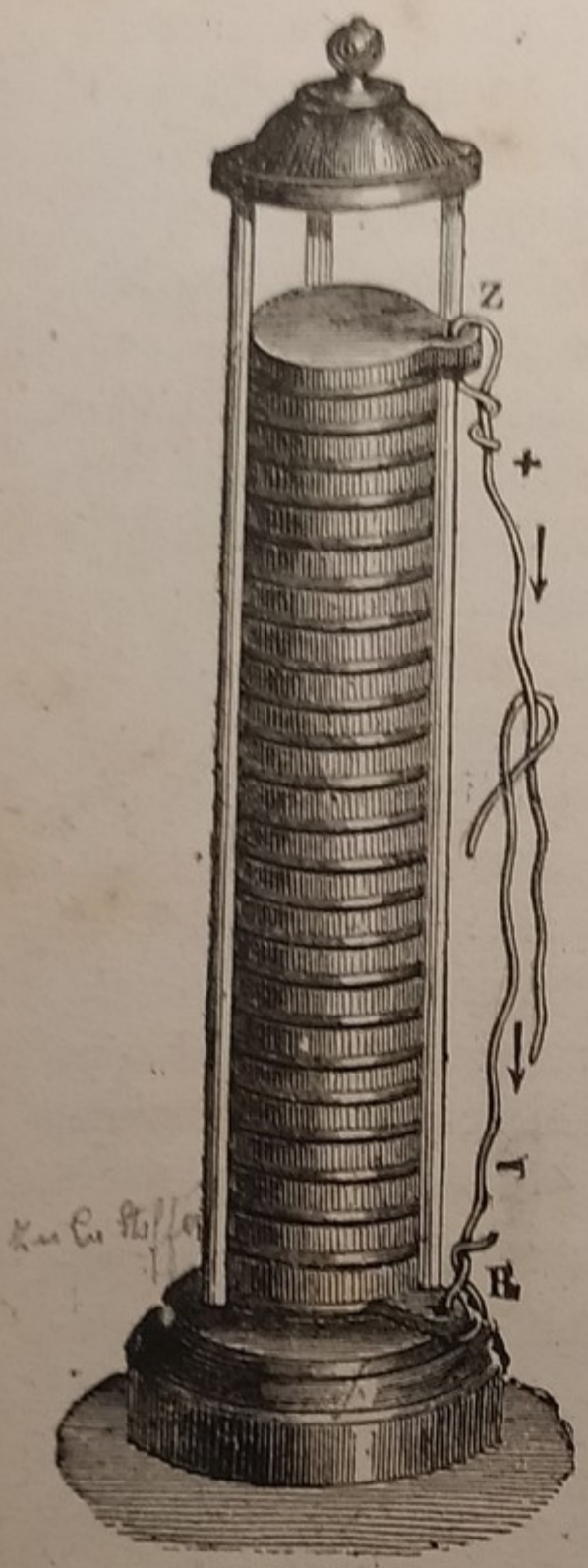


Fig. 207.

L'effetto di una tale sovrapposizione di coppie è quello preveduto da Volta, cioè che la differenza di livello elettrico che vi è fra il rame e lo zinco di una coppia si somma con quella della successiva, e così di seguito, per modo che la differenza del livello elettrico nei due dischi estremi, rame e zinco, o poli della pila, è eguale a quella di una coppia moltiplicata pel numero delle coppie.

E ciò perchè, come divinò il Volta, *la causa che produce una data differenza di livello elettrico fra due corpi agisce sempre egualmente sia che essi siano isolati, sia che siano in comunicazione con altri corpi, di cui assumono il livello elettrico.*

3. Differenza di polarità fra la pila di Volta e le altre. — Nella pila così costituita il disco di rame di una coppia dovendo essere in contatto col disco di zinco della successiva, può anche essere saldato a questo, come usava Volta; però i due dischi estremi debbono essere di un solo metallo. Così l'ultimo disco rame è il polo +, e l'ultimo disco zinco è il polo —, come in una coppia sola.

Ma la pila costruita da Volta aveva il polo + all'ultimo zinco, e il polo — all'ultimo rame, perchè egli attribuiva lo sviluppo della elettricità al contatto dei due metalli diversi, rame e zinco, anzichè al contatto dei medesimi coll'acqua acidula. Perciò ciascuna coppia elettromotrice, secondo Volta, era costituita da due dischi rame e zinco, a contatto fra loro. Anzi per assicurare meglio tale contatto egli li saldava insieme. All'acqua acidula poi egli attribuiva solo l'ufficio di trasmettere l'elettricità da una coppia alla successiva, evitando il contatto immediato di ciascun disco di zinco con due dischi di rame sulle due faccie, perchè, secondo lui, uno dei contatti avrebbe distrutto l'effetto dell'altro, ma in realtà, perchè senza l'acqua acidula e la trasformazione chimica che ne deriva, il solo contatto dei metalli zinco e rame può bensì sviluppare una differenza di livello elettrico nei medesimi, ma non la

corrente, la quale richiede che quella differenza sia continuamente rinnovata nei corpi a contatto, il che non può avvenire senza una trasformazione di energia.

Quindi costruendo la pila alla maniera di Volta si pongono dapprima due dischi, uno di rame e l'altro di zinco, saldati insieme; poi un disco di panno bagnato d'acqua acidula, indi sopra questo di nuovo un doppio disco rame e zinco, e così di seguito. Permodoché, se si è cominciato la pila con un doppio disco zinco-rame, ponendo questo in basso, la pila termina in alto con un disco zinco saldato ad un ultimo disco rame, il quale è in contatto coll'acqua acidula.

Così costruita la pila, il suo polo + è l'ultimo disco zinco superiore saldato all'ultimo disco rame in contatto coll'acqua acidula, mentre il polo — è l'ultimo disco rame inferiore saldato ad un disco zinco in contatto coll'acqua acidula.

Ma l'ultimo disco zinco superiore saldato al rame, e l'ultimo disco rame inferiore saldato allo zinco sono perfettamente inutili; essi non fanno che prendere, per contatto, l'elettricità dell'altro disco cui sono saldati. Infatti, se si sopprimono, sostituendo loro dei dischi semplici, rame al disopra, zinco al disotto, si ottiene la pila con polarità identica a quella delle altre costituite da rame, zinco e acqua acidula, in cui il rame è il polo +, e lo zinco il polo —.

4. Diversa elettricità che presenta la pila di Volta secondochè è isolata o no. — La qualità della elettricità nella pila di Volta è diversa secondochè essa comunica col suolo pel rame, o per lo zinco, ovvero è isolata, ma la differenza di livello elettrico fra i poli è sempre la stessa per uno stesso numero di coppie.

Se comunica col suolo per lo zinco, questo ha il livello elettrico 0, e il resto della pila ha elettricità +, il cui potenziale cresce da una coppia alla successiva, e quindi proporzionalmente al numero delle coppie.

Se comunica col suolo pel rame questo ha il livello elettrico 0, e il resto della pila ha elettricità negativa, il cui potenziale cresce da una coppia alla successiva, e quindi proporzionalmente al numero delle coppie.

Se la pila è isolata, allora essa ha il livello elettrico 0 nel mezzo, e da questo verso l'estremità rame l'elettricità è +, e il suo potenziale cresce da una coppia alla successiva; invece dal mezzo verso l'estremità zinco la elettricità è —, e il suo potenziale cresce pure col numero delle coppie.

Ma in tutti e tre i casi la differenza di livello elettrico fra i poli è costante per un numero costante di coppie.

5. Pila a corona di tazze. — La pila di Volta presenta diversi difetti: 1° il peso dei dischi metallici spreme l'acqua acidula dalle rotelle di panno, le quali perciò si disseccano; 2° l'acqua acidula spremuta colando da un disco all'altro stabilisce comunicazione fra i liquidi delle coppie, permodochè il livello elettrico

dei medesimi diviene eguale; 3° la forma di questa pila torna incomoda quando il numero delle coppie è grande perchè diviene troppo alta.

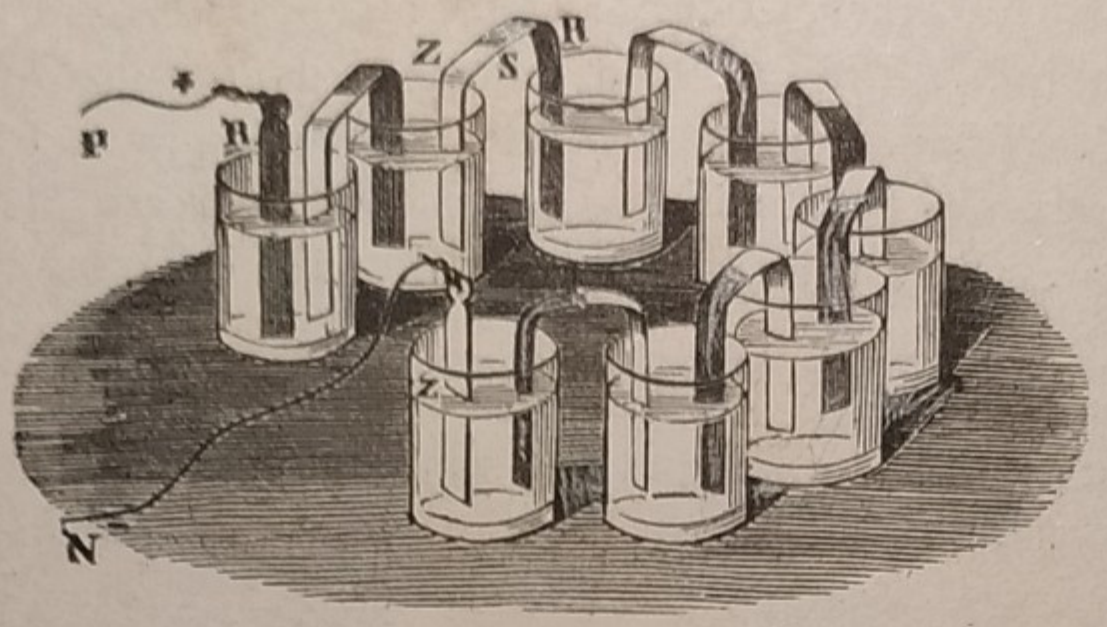


Fig. 208.

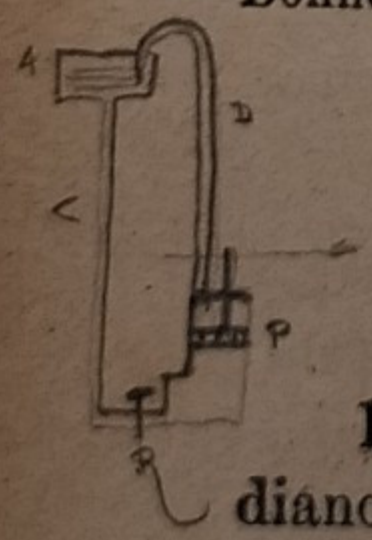
Quindi Volta stesso modificò la sua pila e le diede la forma detta *a corona di tazze* (figura 208), costituita da una serie di bicchieri contenenti acqua acidula, in cui pesca una lastra di zinco e una di rame. Il rame di una coppia comunica collo zinco della vicina mediante un filo o lamina di rame. L'ultimo rame è il polo + e l'ultimo zinco è il polo — della pila.

6. — Altre **modificazioni della pila di Volta** furono la *pila a truogoli*, e la *pila di Wollaston*, sulle quali si tace per brevità avendo esse solo più importanza storica.

7. Pila a secco di Zamboni (1812). — Gli elementi di questa pila sono costituiti da un dischetto di carta con una faccia coperta di stagnola e l'altra di biossido di manganese; si sovrappongono da mille a due mila di questi elementi in modo che la faccia stagnata dell'uno sia a contatto con quella manganesata del vicino, e si accludono in un tubo di vetro; la pila si termina a ciascuna estremità con un disco di rame tra i quali si stringono le coppie.

Il disco di rame in contatto col biossido di manganese che si disossida è all'esterno il polo + e quello in contatto collo stagno che si ossida è il polo —.

Il più importante impiego di questa pila si incontra nell'elettroscopio di Bohnenberger (pag. 281).



§. 72. Il Galvanometro.

1. Esperienze di Oersted (1820). — Se si colloca nel meridiano magnetico, parallelamente alla direzione che assume un ago calamitato mobile su di una punta per l'azione direttrice della

terra (pag. 326), un filo o una verghetta metallica (*ns*, fig. 209), i cui due capi sono uniti mediante reofori a due lastre, una di rame e l'altra di zinco, immergendo queste nell'acqua acidula si vede l'ago deviare dal meridiano magnetico, e disporsi ad angolo colla direzione della corrente elettrica che percorre la verghetta comunicante colle due lastre rame e zinco.

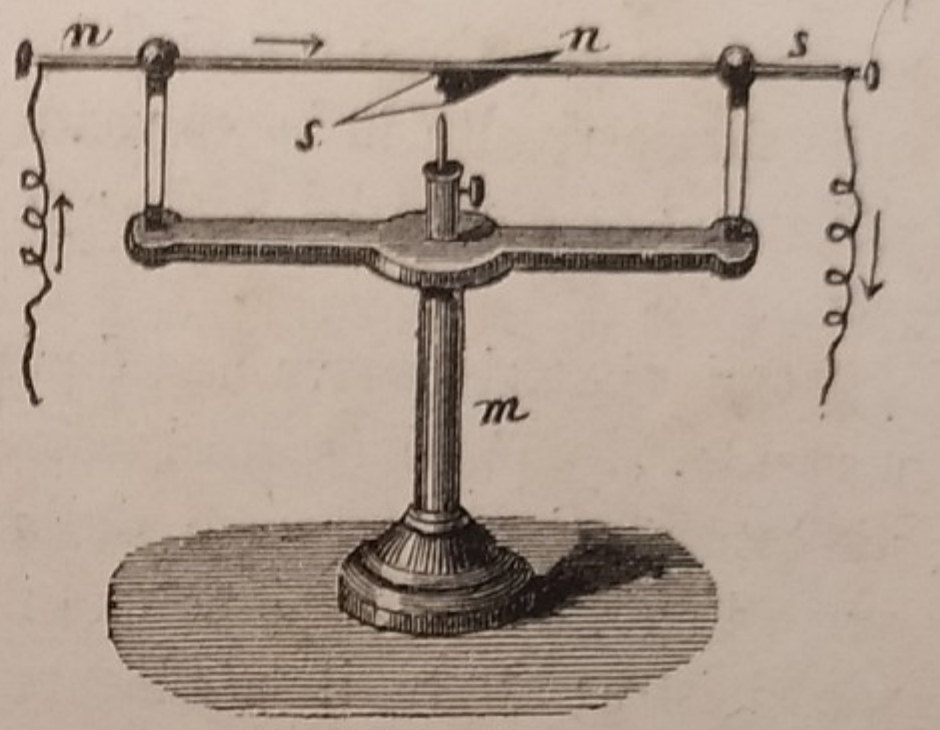


Fig. 209.

2. Regola d'Ampère. — Per determinare il verso della deviazione, Ampère (1821) propose di denominare *destra* e *sinistra* della corrente la destra e la sinistra di una persona che nuota nella direzione della medesima colla faccia rivolta all'ago.

Perciò se l'ago è sotto la corrente (come N S rispetto alla corrente B C, fig. 210), si deve immaginare la persona, o il nuotatore (N'') colla faccia in basso, cioè *prono:* se invece l'ago è sopra la corrente (come S' N' rispetto alla stessa corrente B C) si deve immaginar il nuotatore (N'''') colla faccia in alto, cioè in posizione *supina*, e allora la sua sinistra sarà dalla parte opposta a quella della posizione prona.

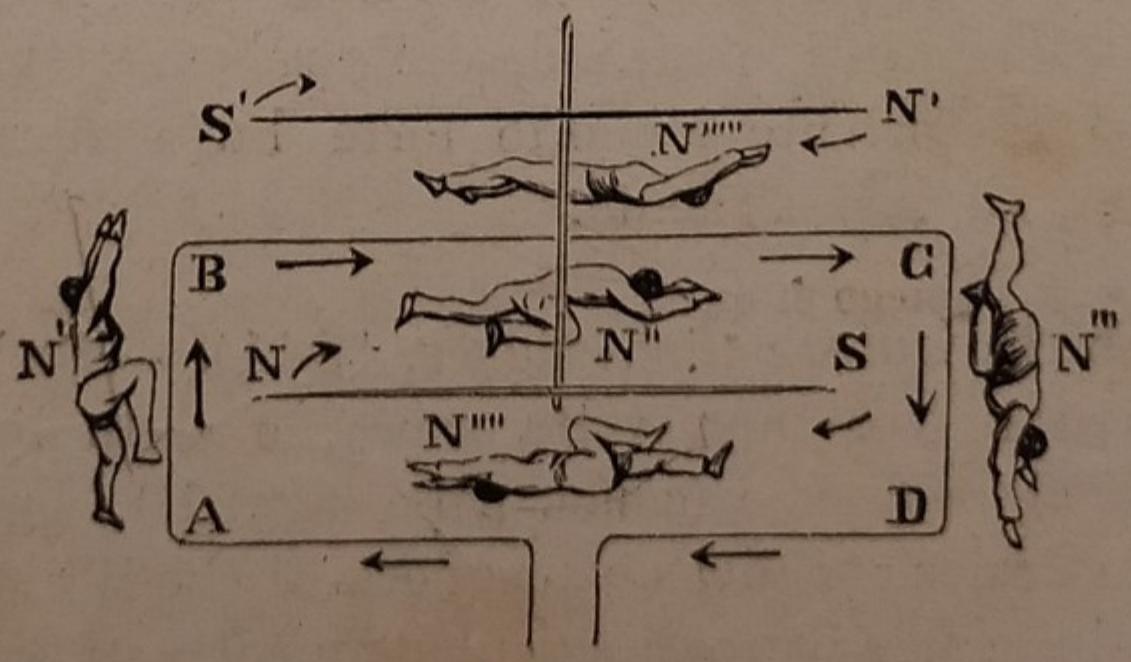


Fig. 210.

Ciò posto, la deviazione dell'ago calamitato per l'azione della corrente elettrica avviene secondo la seguente regola stabilita da Ampère: *Quando una corrente elettrica passa sopra o sotto un*

ago calamitato è parallelamente al medesimo fa deviare il polo nord alla sinistra della corrente.

Per es., nella fig. 210 la corrente essendo diretta da B a C e passando sopra l'ago N S, si deve immaginare il nuotatore *prono*, colla faccia rivolta in basso verso l'ago sottostante, e quindi colla sinistra al di dietro del foglio; perciò il polo N è deviato da quella parte.

Quindi, se si osserva una deviazione dell'ago effettuata da una corrente, si può conoscere la direzione di questa immaginando il nuotatore nel filo percorso dalla medesima colla faccia rivolta verso l'ago, e così disposto che il polo nord deviato si trovi alla sua sinistra; allora il nuotatore ha i piedi dalla parte da cui la corrente viene.

Se il filo è teso sopra l'ago in direzione perpendicolare al meridiano magnetico, e se la corrente vi è diretta da occidente ad oriente in modo cioè da avere il polo nord alla propria sinistra, allora l'ago rimane nel meridiano magnetico; questo fatto, insieme a quello più sopra accennato (pag. 359), dimostra che *l'azione esercitata su ciascuno dei poli dell'ago è ad angolo retto con la direzione della corrente.*

La direzione che prende l'ago sotto la doppia azione direttrice della terra e della corrente è quella della risultante delle due forze direttrici. La terra dirige l'ago da nord a sud nel meridiano magnetico, invece la corrente tende a dirigerlo perpendicolarmente, cioè da est ad ovest. La direzione della risultante giace fra le direzioni delle componenti e dipende dalle relative intensità delle medesime. Se la corrente è molto forte l'ago verrà notevolmente deviato, ed inversamente.

3. Il moltiplicatore (Schweigger, 1821). — Se la corrente invece di passare solo una volta sopra, o sotto l'ago, fa un giro attorno al medesimo (come, nella fig. 210, ABCD attorno all'ago N S) la deviazione diviene maggiore. Il che si intende osservando che allora agiscono sull'ago quattro correnti, due orizzontali e due verticali, le cui azioni si sommano, perchè se si applica la regola del nuotatore, si vede che questo ha sempre la sinistra dalla stessa parte, e quindi le quattro correnti deviano tutte il polo nord nello stesso verso, cioè al di là del piano della figura.

Lo stesso avverrebbe se il circuito della corrente invece di essere rettangolare fosse circolare.

Se poi invece di un giro solo la corrente ne fa parecchi, allora la sua azione direttrice viene moltiplicata pel numero dei giri e quindi risulta l'apparecchio detto *moltiplicatore* (fig. 211), costituito da un telaio di legno, o di avorio, attorno al quale è avvolto un filo di rame rivestito di seta, che fa un numero più o meno grande di giri attorno al telaio, nel cui interno si trova un ago calamitato. Il filo deve essere rivestito di seta, o altra materia isolante, affinchè la corrente non passi lateralmente da una spira all'altra.

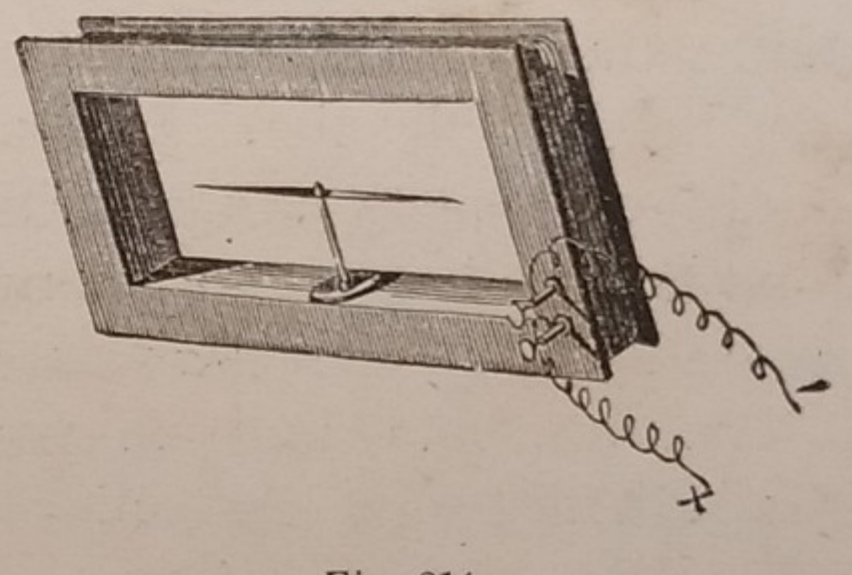


Fig. 211.

Così la corrente agisce un gran numero di volte sull'ago calamitato, il quale è perciò deviato assai più che non da una sola corrente. Tuttavia l'azione di questa non si moltiplica indefinitamente col crescere dei giri, perchè cresce la loro distanza dall'ago e poi perchè diminuisce l'intensità della corrente, cioè *la quantità di elettricità passante nel filo nell'unità di tempo* col crescere della lunghezza del circuito che essa percorre.

4. Azione di una corrente elettrica su di un sistema astatico. — Chiamasi *sistema astatico* il sistema di due aghi calamitati riuniti assieme parallelamente da un filo metallico in modo che l'uno non possa girare senza trascinare l'altro, ma coi poli opposti dalla medesima parte. Su di un tale sistema l'azione direttrice della terra è solo la differenza fra le azioni direttrici che essa esercita sui due aghi, perchè quando sono deviati dal meridiano magnetico la terra tende a far girare un ago in un verso e l'altro in un verso contrario.

Ora per deviare un ago magnetico unico la corrente elettrica deve vincere l'azione direttrice della terra sul medesimo, la quale tende a mantenerlo nel meridiano magnetico del luogo, e se quella è debolissima la sua azione deviatrice sull'ago può essere insensibile.

Ma se si fa agire la corrente su di un sistema astatico, il quale è più o meno completamente sottratto all'azione direttrice della terra, esso potrà più liberamente obbedire all'azione direttrice della corrente.

Però, se il sistema astatico è costituito da due aghi paralleli coi poli contrarii dalla stessa parte, non si debbono collocare entrambi nel telaio, perchè allora le azioni delle correnti sui medesimi disposti inversamente si annullerebbero; ma bensì lo si deve disporre in modo che il solo ago inferiore sia nell'interno del telaio, mentre l'ago superiore deve stare al disopra di questo (fig. 210).

Infatti, consideriamo un sistema astatico collocato come indica la detta figura, cioè coll'ago inferiore N S nel rettangolo percorso dalla corrente, e l'ago superiore S′ N′ al disopra.

Le quattro correnti del rettangolo, come si è già sopra notato, tendono a fare girare l'ago inferiore nel medesimo verso, cioè a spingere il polo N dietro il piano della figura, e quindi il polo S davanti. Se poi si applica la regola del nuotatore all'ago superiore, si vede che la corrente B C, più vicina al medesimo, spinge il polo N′, sovrastante ad S, nello stesso verso di questo, cioè davanti al piano della figura, e quindi il polo S′, sovrastante ad N, nello stesso verso di questo, cioè dietro il piano della figura, cosicchè le azioni della detta corrente sull'ago superiore sono d'accordo colle azioni delle quattro correnti sull'ago inferiore.

Però le due porzioni verticali A B, C D della corrente, come pure la porzione orizzontale A D, sottostanti all'ago superiore, disposto inversamente rispetto all'inferiore, tendono a farlo girare in verso contrario a questo; ma codeste tre azioni discordanti sono, per la maggior distanza, meno energiche di ciascuna delle altre. Quindi l'effetto finale di una tale disposizione si è una deviazione più energica del doppio ago, e una maggior mobilità di questo rispetto a quella che avrebbe un ago solo sotto l'influenza del magnetismo terrestre.

Pertanto, coll'uso di un sistema astatico, si hanno due vantaggi: 1° una maggior mobilità che non abbia un ago solo; 2° un numero maggiore di azioni deviatrici concordanti.

5. Il galvanometro di Nobili (1830) (fig. 212) *è un apparecchio che serve a indicare la presenza* (mediante la deviazione), *la direzione* (mediante il verso della deviazione) *e l'intensità delle*

correnti elettriche (mediante la grandezza della deviazione). Esso è fondato sull'azione direttrice della corrente elettrica sull'ago calamitato.

È costituito da un telaio di legno, o di avorio, sul quale è avvolto un filo di rame rivestito di seta, i cui capi giungono a due viti di chiusura, a cui si attaccano i fili che debbono condurre la corrente.

Al di sopra del telaio vi è un cerchio graduato orizzontale con una fenditura diametrale parallela ai fili del telaio. Infine

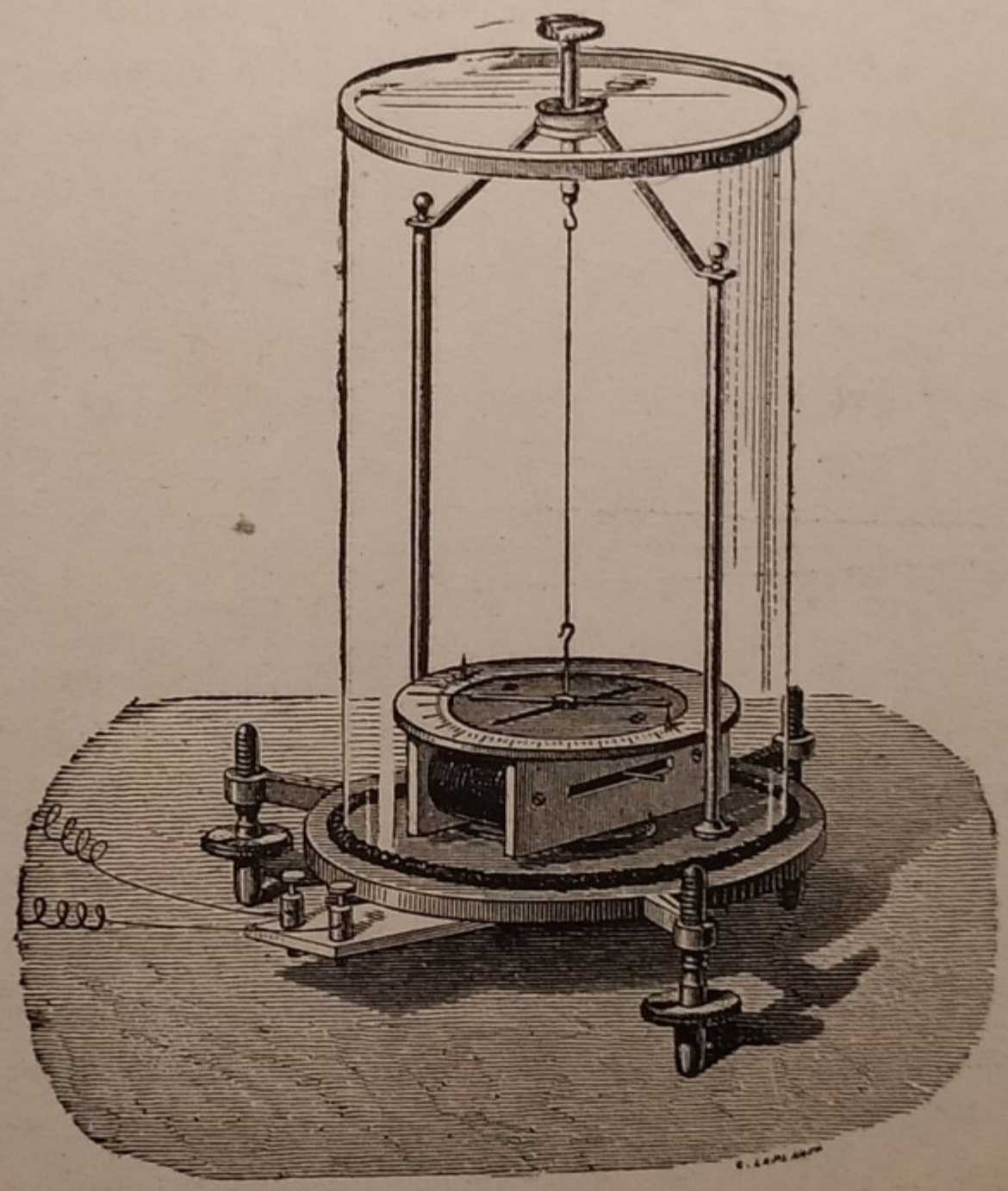


Fig. 212.

un sistema astatico è sospeso ad un filo di bozzolo in guisa che l'ago superiore sia al di sopra del quadrante, e l'inferiore nell'interno del telaio in cui si introduce per la fenditura del quadrante. Perciò i fili del telaio sono alquanto separati in corrispondenza della detta fenditura.

Il tutto è sostenuto da un disco metallico munito di viti di livello.

6. Uso del galvanometro. — Per usare lo strumento si deve dapprima, mediante la vite superiore cui è appeso il filo di bozzolo che sostiene il sistema astatico, e le viti di livello inferiori, regolarne la posizione in

modo che l'ago inferiore possa liberamente girare nel telaio e il superiore sul quadrante, al quale scopo il filo metallico che congiunge i due aghi deve passare pel centro del cerchio graduato. Osservata quindi la posizione in cui si dirige liberamente il sistema astatico si rivolge lo strumento in modo che i fili del telaio sieno paralleli agli aghi, e si finisce di mettere l'ago superiore precisamente allo zero della graduazione col far girare alquanto il telaio in un verso o nell'altro mediante apposito bottone esterno, senza spostare ulteriormente l'apparecchio.

Finchè le deviazioni non oltrepassano i 10°, o 12°, le intensità delle correnti sono proporzionali alle deviazioni, e perciò il galvanometro può

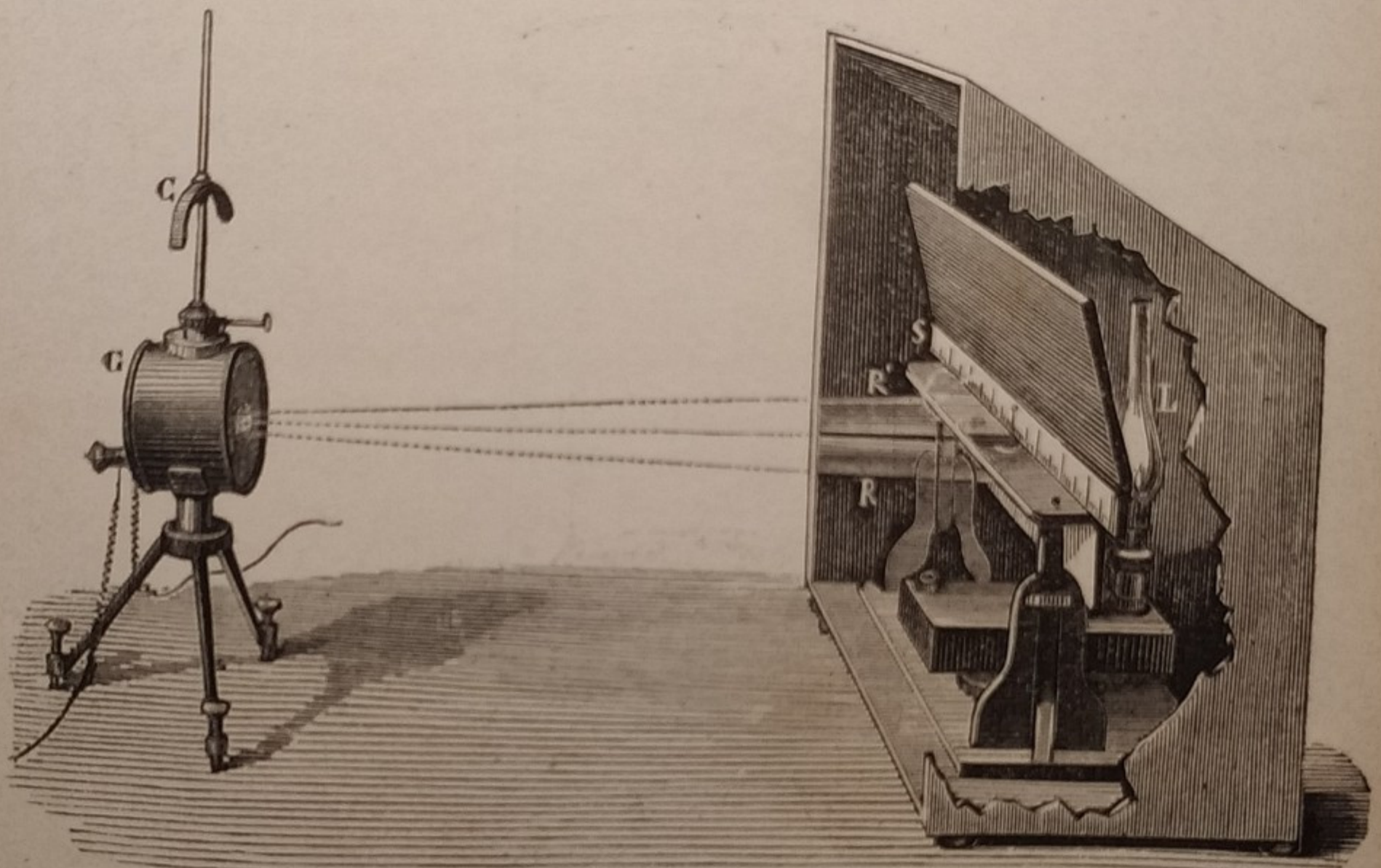


Fig. 213.

servire a indicare non solo la presenza e direzione, ma ancora l'intensità relativa di quelle.

Al di là del detto limite gli angoli di deviazione crescono in un rapporto minore di quello delle intensità delle correnti. Il che dipende dal fatto che a misura che gli aghi deviano dalla loro direzione primitiva parallela a quella dei fili del telaio, la corrente elettrica agisce più obliquamente e perciò con minor efficacia sull'ago. Tuttavia si possono determinare sperimentalmente per ciascun galvanometro, i rapporti fra gli angoli di deviazione maggiori di 10° e le intensità delle correnti che producono tali deviazioni, notando le deviazioni prodotte da correnti di intensità doppia, tripla, quadrupla.

7. Galvanometri a specchio. — Per manifestare e misurare debolissime correnti si usano con vantaggio i galvanometri a *specchio* o a *rifles-*

sione, come quello rappresentato dalla fig. 213, inventato da Thomson per le debolissime correnti che arrivano per le funi sottomarine.

Entro una scatola (G) vi è un telaio avvolto da filo di rame isolato, nel cui interno sta una piccola calamita, che si rende più o meno astatica mediante una calamita curva sovrastante (C), la quale neutralizza più o meno il magnetismo terrestre. A quella è applicato uno specchietto concavo che oscilla assieme colla medesima, e sul quale si fa cadere, in una camera alquanto oscura, un piccolo fascio luminoso che parte da una lampada (L) collocata dietro uno schermaglio portante una scala, con un foro nel mezzo di questa per lasciare passare il detto fascio.

Se lo specchio non è deviato, il fascio luminoso riflesso dal medesimo ritorna indietro sulla scala nella direzione del fascio incidente; ma se per l'azione della corrente elettrica che percorre il filo del telaio avviene una deviazione del magnete interno, e quindi dello specchio ad esso unito, il fascio riflesso si porta da una parte o dall'altra del fascio incidente secondo il senso della deviazione.

Lo specchio concavo ha per oggetto di concentrare il fascio luminoso sulla scala e renderlo più visibile. Ma siccome tali specchi concavi sono molto costosi, si può anche usare uno specchietto piano, avanti il quale si mette una lente convergente che concentra egualmente il fascio luminoso.

Quando sia necessaria una grande esattezza si tende un sottile filo nel foro per cui passa il fascio luminoso, nel quale modo si ha una sottile linea nera nella traccia del fascio luminoso sullo schermaglio.

Con tale artifizio della riflessione di un fascio luminoso oltre che si legge un angolo doppio di quello che si vuole misurare, perchè l'angolo di deviazione del fascio riflesso è doppio dell'angolo di deviazione dello specchio (paragr. 30), si viene in certo modo ad adoperare un ago munito di un indice lungo tanti metri quanta è la distanza della scala dallo specchio, e così si osservano solo piccole deviazioni proporzionali alle intensità delle correnti.

I galvanometri a riflessione si possono adoperare in due maniere, cioè osservando con un cannocchiale l'immagine di una scala collocata in faccia allo specchietto, il quale deviando presenta nel cannocchiale divisioni diverse della scala; ovvero, ciò che è conveniente in una scuola, proiettando sulla scala un'immagine reale di una sorgente luminosa mediante uno specchietto concavo applicato all'ago, oppure mettendo avanti allo specchietto piano dell'ago una lente convergente.

§. 73. Coppie elettromotrici a depolarizzante.

1. Difetto delle pile a un solo liquido. — La pila di Volta e le sue modificazioni hanno il grave difetto di dare correnti, la cui intensità decresce rapidamente.

Le cause che indeboliscono la corrente sono due: 1° la diminuzione dell'acido solforico a misura che si trasforma in solfato di zinco; 2° lo sviluppo dell'idrogeno dal rame.

Per la prima causa diminuisce l'energia chimica disponibile, ma ad essa si può facilmente rimediare coll'aggiunta di acido solforico.

Lo sviluppo dell'idrogeno dal rame esercita due azioni nocive all'intensità della corrente. Dapprima perchè questo gas, rivestendo il metallo, impedisce il suo perfetto contatto coll'acqua acidula, e per la sua pessima conduttività oppone grave ostacolo alla circolazione della elettricità, cioè aumenta enormemente la resistenza del circuito interno.

In secondo luogo l'idrogeno che si sviluppa sul rame essendo elettro + comunica a questo metallo il suo stato elettrico, o come si dice lo *polarizza*, cioè gli comunica una polarità elettrica contraria a quella negativa che esso deve avere nell'interno del liquido.

Infatti, se si mettono in coppia, nella stessa acqua acidula, due lastre di rame, una che abbia funzionato per alcuni minuti come polo + assieme con una lastra di zinco, e una pulita che non sia stata in coppia collo zinco, si riconosce facilmente, mediante un moltiplicatore, che la prima funziona da elemento elettro — rispetto alla seconda.

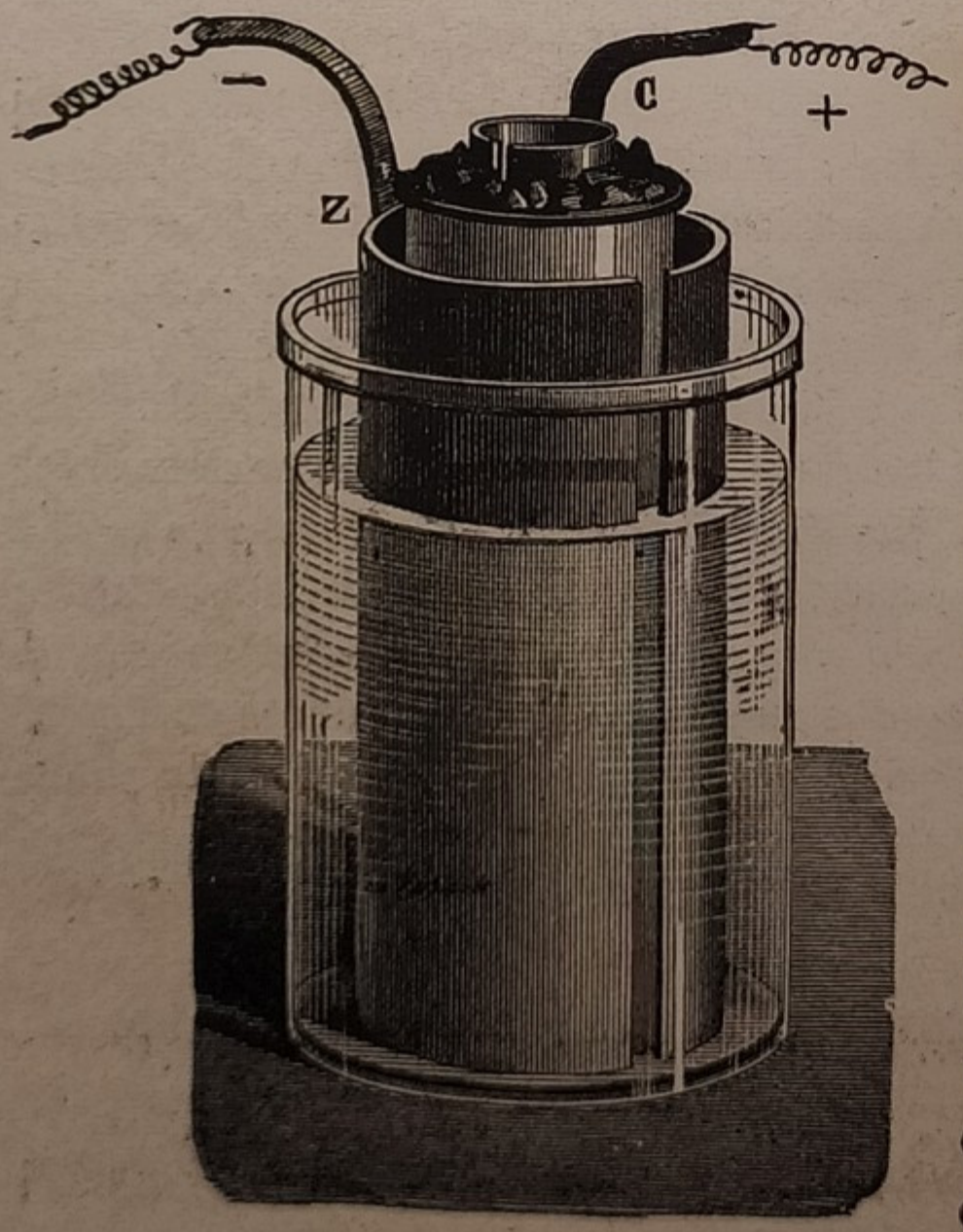


Fig. 214.

In generale l'antagonismo elettrico dei componenti che si sviluppano sulle lamine polari delle coppie tende ad invertire lo stato elettrico delle medesime e quindi la corrente. Il fenomeno chiamasi *polarizzazione*.

2. Coppie a depolarizzante. — I difetti delle coppie ad un solo liquido (acqua acidula) vengono più o meno perfettamente evitati nelle coppie seguenti, nelle quali vi è sempre un liquido *eccitatore* che attacca un metallo, ed una sostanza *depolarizzante*, che ha per iscopo di fissare l'idrogeno svolto dalla reazione del primo liquido col metallo.

3. Coppia Daniell (1836). — Una lastra di zinco (fig. 214) è immersa nell'acido solforico diluito, contenuto in un recipiente esterno di vetro, e una lastra di rame sta immersa in una soluzione acquosa di solfato di rame, contenuta in un recipiente interno poroso. Il rame è il polo +, lo zinco è il polo —.

Questa coppia dà una corrente quasi costante, principalmente perchè in essa è evitato lo sviluppo dell'idrogeno dal rame e la polarizzazione di questo. Infatti l'idrogeno che si sviluppa nel vaso esterno, per la reazione dello zinco coll'acqua acidula:

$$\underset{\text{zinco}}{Zn} + \underset{\text{acido solforico}}{H_2SO_4} = \underset{\text{solfato di zinco}}{ZnSO_4} + \underset{\text{idrogeno}}{H_2},$$

non può svilupparsi sul rame perchè questo è circondato da una soluzione di solfato di rame, col quale esso dà la reazione:

$$\underset{\text{idrogeno}}{H_2} + \underset{\text{solfato di rame}}{CuSO_4} = \underset{\text{acido solforico}}{H_2SO_4} + \underset{\text{rame}}{Cu},$$

cioè decompone il solfato di rame, genera acido solforico e mette in libertà un atomo di rame, che si deposita sulla lamina di rame immersa nel solfato. Così sulla detta lastra invece di svilupparsi un gas cattivo conduttore della elettricità e che tende ad ossidarsi, come l'idrogeno, si deposita il rame stesso allo stato solido, che aumenta la grossezza della lastra senza alterarne le proprietà fisico-chimiche.

L'acido solforico che nasce dalla reazione dell'idrogeno col solfato ramico passa per diffusione nel vaso esterno a rendere costante l'acidità dell'acqua acidula, il che concorre alla costanza della corrente.

Infine, per evitare che la soluzione di solfato ramico s'impoverisca a misura che viene decomposto questo sale dall'idrogeno, si mette una provvista del medesimo in una galleria sovrastante alla lastra di rame, ed in contatto col liquido del vaso poroso, nel quale esso si scioglie lentamente.

Quest'a coppia dà una corrente meno energica delle seguenti, di Grove e Bunsen, ma più costante; non dà come queste esalazioni incomode e nocive, e può essere tenuta nelle camere.

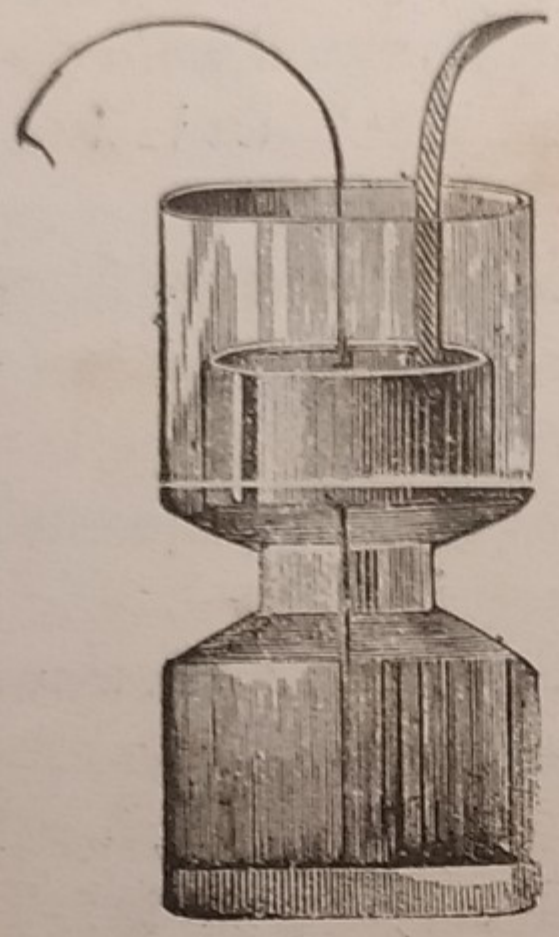


Fig. 215.

Tuttavia, dopo qualche tempo, per la penetrazione del solfato di rame nel vaso poroso, diminuisce la porosità di questo. Perciò essa, come vedremo, ha subìto diverse modificazioni.

4. Pila italiana. — Nei nostri telegrafi si usa col nome di *pila italiana* una coppia elettromotrice, che è una modificazione della Daniell, nella quale per economia è soppresso ogni diaframma poroso, e i due liquidi stanno separati solo per la loro differente densità.

Consta di un recipiente cilindrico di vetro (fig. 215) con uno stringimento verso la metà della sua altezza, il quale lo divide in due scompartimenti. Nell'inferiore si pongono i cristalli di solfato di rame, e una lastra di rame nuda inferiormente e in alto, mentre in mezzo è rivestita di guttaperca perchè sia isolata. Nel superiore si pone una lastra cilindrica di zinco, la quale appoggia semplicemente sulla parete orizzontale dello stringimento. Infine si versa acqua comune fin sopra lo zinco.

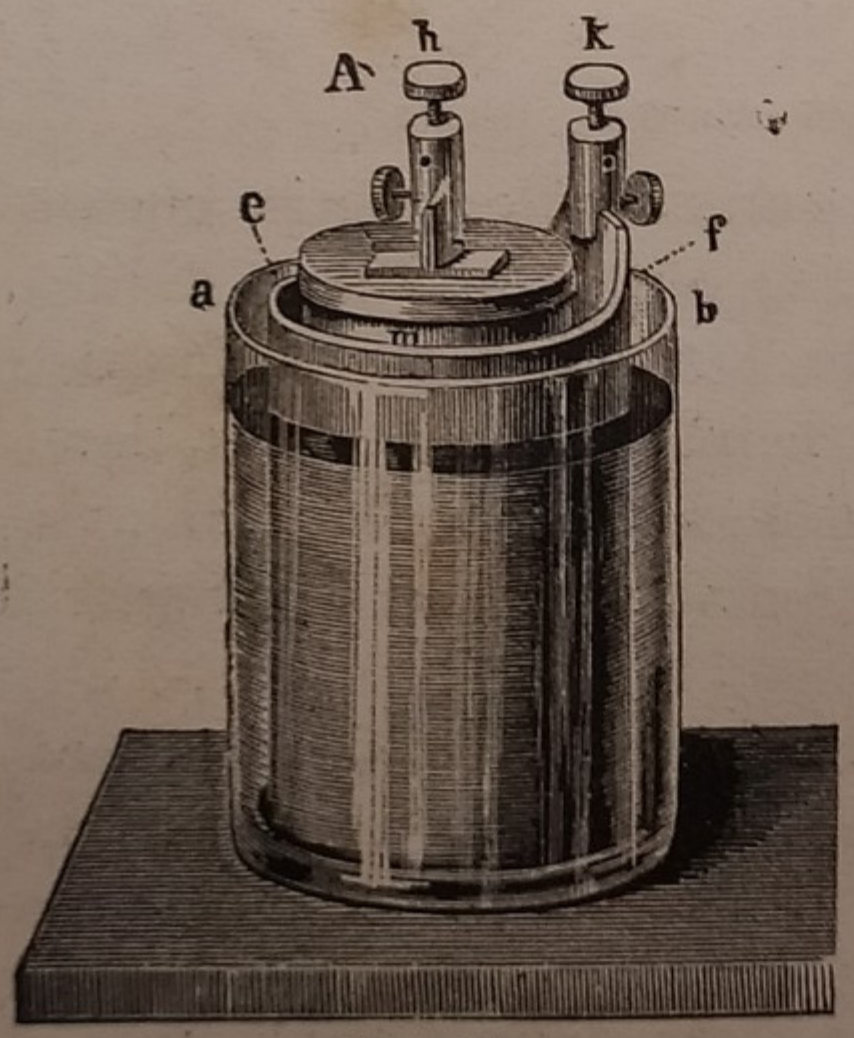


Fig. 216.

L'azione chimica è la stessa che nella Daniell; lo zinco lentamente decompone l'acqua ossidandosi, e l'idrogeno che se ne svolge decompone il solfato di rame, per cui questo metallo si deposita sulla lastra di rame che aumenta di grossezza. Non si ha che da aggiungere acqua a misura che consuma per l'azione chimica e per l'evaporazione.

La soluzione di solfato di rame sta separata dall'acqua per la maggior densità; quindi per non favorire la mescolanza le coppie non debbono essere mosse; ma alla lunga il liquido più denso sottostante si diffonde nell'acqua sovrastante, e le coppie debbono essere rinnovate.

5. Coppia di Grove (1839). — Una lastra di zinco (*ef*, fig. 216) sta immersa nell'acido solforico diluito, contenuto in un recipiente

esterno non poroso (ab), e una foglia di platino è immersa nell'acido nitrico contenuto in un recipiente interno poroso (m).

Il platino è il polo +, lo zinco il polo —.

La polarizzazione del platino nella medesima per parte dell'idrogeno che nasce dalla solita reazione dello zinco coll'acqua acidula è impedita dall'acido nitrico in cui quello è immerso, al quale esso prende ossigeno per formare acqua, siccome indica la eguaglianza:

$$\underset{\text{idrogeno}}{H_2} + \underset{\text{acido nitrico}}{2HNO_3} = \underset{\text{acqua}}{2H_2O} + \underset{\text{ipoazotide}}{N_2O_4}$$

Tale coppia presenta i seguenti inconvenienti:

1° Svolge vapori nitrosi (di ipoaozotide) dannosi alla respirazione e che intaccano gli oggetti metallici. Perciò se le coppie sono numerose essa deve essere tenuta in luogo ben ventilato, cioè, o all'aria libera, o sotto una cappa di fornello, cosicchè i vapori nitrosi vengano esportati.

2° A misura che l'acido nitrico diviene acquoso per le due reazioni indicate l'idrogeno tende a svolgersi sul platino, perciò la corrente diminuisce d'intensità e conviene rinnovare l'acido nitrico.

3° Finalmente essa ha il difetto di essere costosa, sia per l'elevato prezzo del platino, sia perchè questo alla lunga si altera e diviene fragile.

6. Coppia Bunsen (1842). — La coppia Bunsen non è che la Grove, resa più economica, mediante la sostituzione di un prisma di carbone alla lamina di platino. Questo è il polo +, lo zinco il —.

Essa è rappresentata nella fig. 217, nella quale si vede separatamente il recipiente esterno (F), la lastra di zinco (Z), il vaso poroso interno (V), la lastra di carbone (C), e le stesse parti riunite in P.

La fig. 218 rappresenta una pila di 5 coppie Bunsen disposte collo zinco di un elemento congiunto al carbone del successivo mediante lamine di rame che si uniscono a vite.

Le reazioni, come pure i pregi e i difetti di questa coppia, sono identici a quelli della Grove, e, mentre dà una corrente quasi

egualmente energica, ha il vantaggio di essere meno costosa per la sostituzione del carbone al platino.

7. **Coppia Leclanché** (1868). — Un bastone di zinco, immerso in una soluzione satura di sale ammoniaco (NH_4Cl) nel-

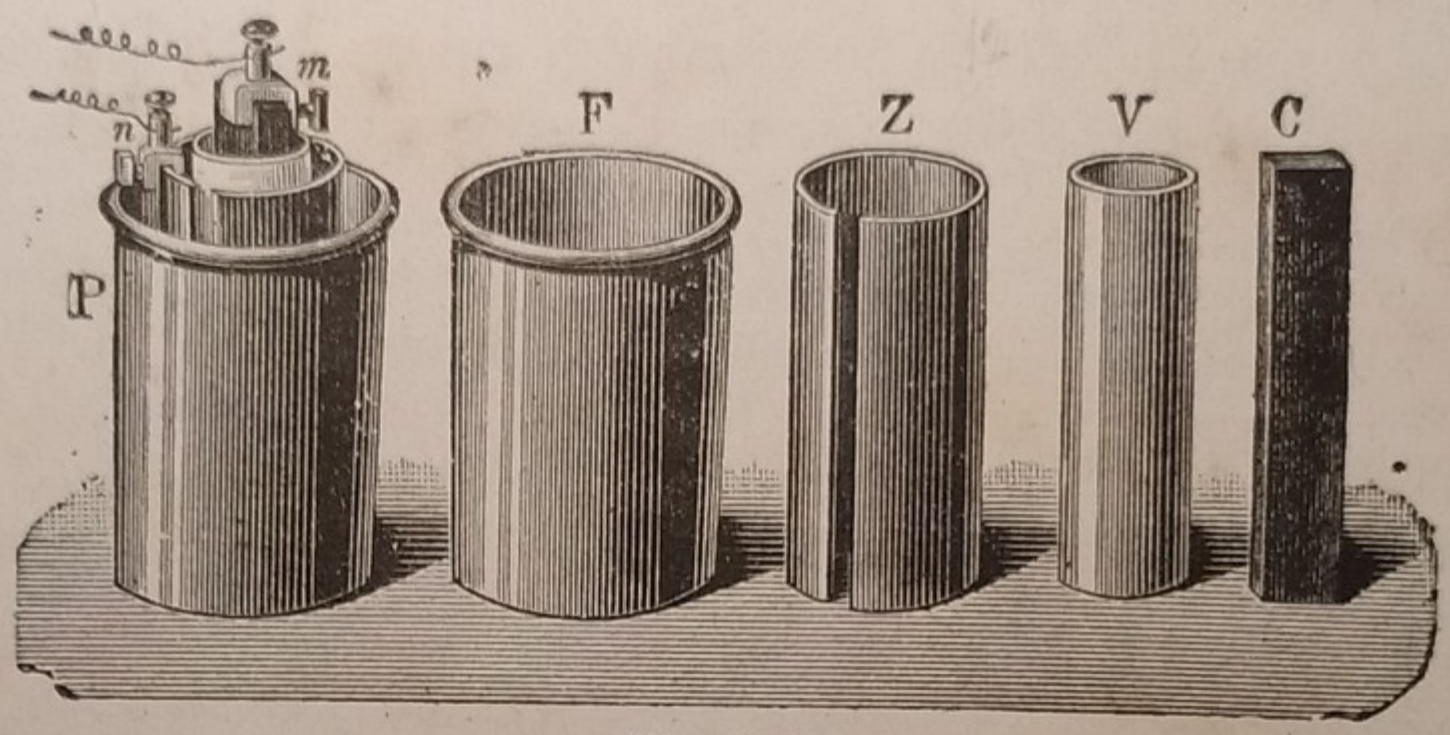


Fig. 217.

l'acqua contenuta in un recipiente esterno di vetro, costituisce il polo —, e una lastra di carbone circondata da un miscuglio di biossido di manganese e coke, in piccoli frammenti, contenuto in

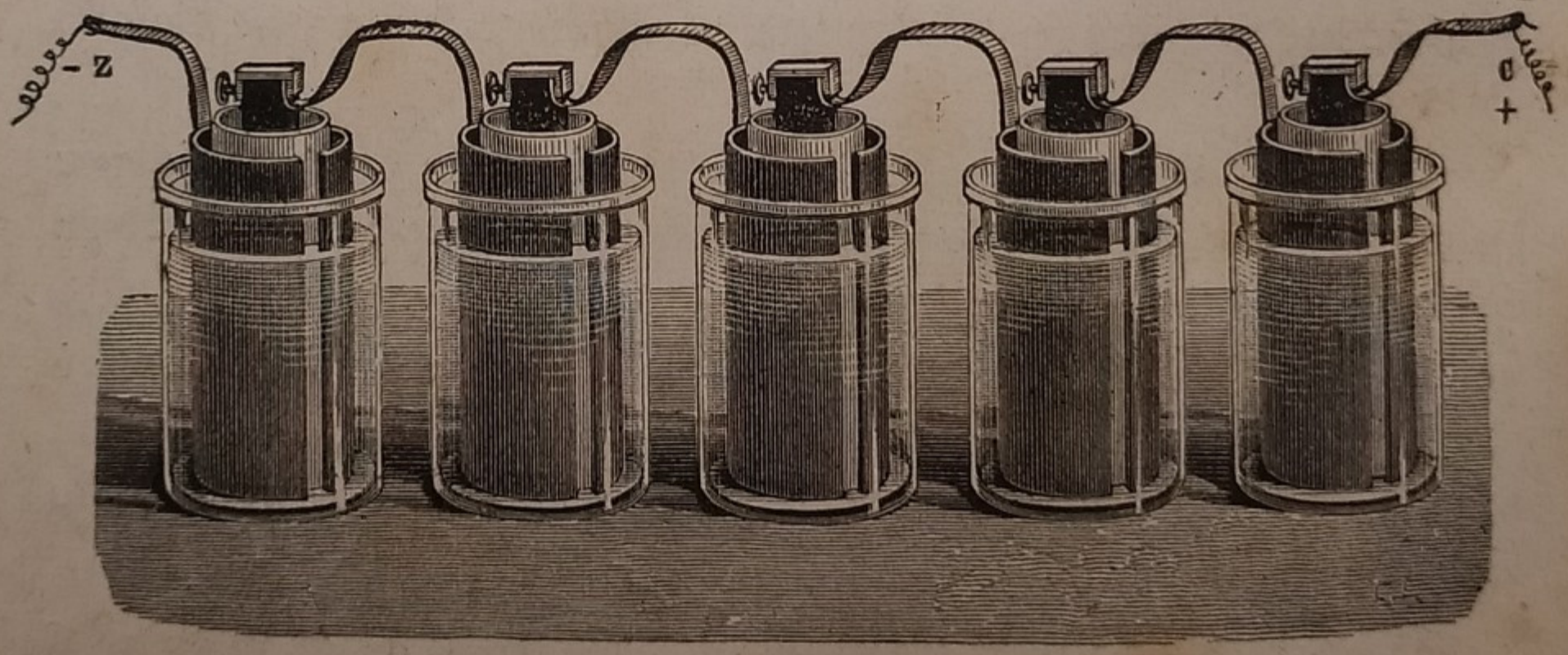


Fig. 218.

un vaso poroso interno, costituisce il polo +. Il coke ha per iscopo di compensare il difetto di conduttività del biossido di manganese.

Essa dà una corrente meno costante di quella Daniell, ma più energica e presenta molti vantaggi. Può funzionare sei mesi di seguito senza bisogno di toccarla; non dà sviluppo gassoso apprez-

zabile, perchè la massima parte dell'ammoniaca che si svolge rimane disciolta nell'acqua; lo zinco non si consuma che a circuito chiuso, e il liquido resiste alla congelazione pei grandi freddi più che le soluzioni di solfato di rame.

La sua corrente decresce con una certa rapidità, ma la depolarizzazione è pronta quando si apre il circuito, e alla richiusura risorge l'intensità della corrente. Perciò torna vantaggiosa per correnti di breve durata, come appunto occorre pel servizio delle sonerie elettriche e nei telefoni.

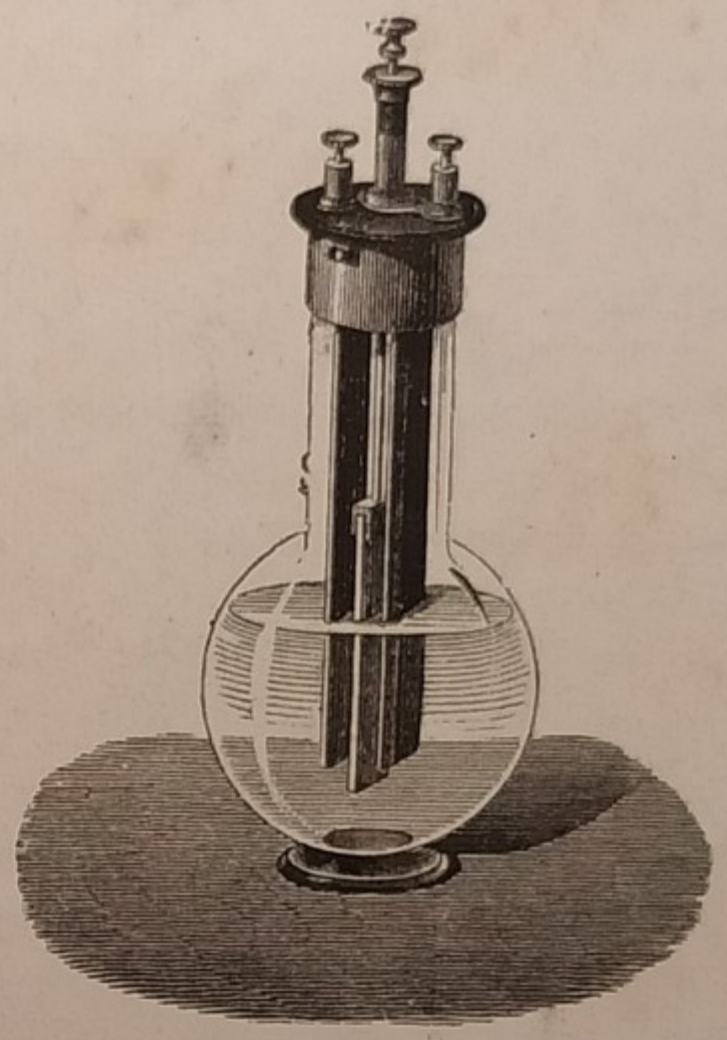


Fig. 219.

La depolarizzazione risulta dalla ossidazione dell'idrogeno, messo in libertà dalla reazione dello zinco col sale ammoniaco, mediante l'ossigeno del biossido di manganese MnO_2, mentre il sale ammoniaco e lo zinco costituiscono cloruro di zinco e ammoniaca:

$$2H_4NCl + 2MnO_2 + Zn = ZnCl_2 + 2H_3N + H_2O + Mn_2O_3.$$

Cloridrato d'ammoniaca + Biossido di manganese + zinco = Cloruro di zinco + ammoniaca + acqua + sesquiossido di manganese

8. Coppia a bicromato potassico. — Per correnti di breve durata è pure assai utile la coppia a bicromato potassico di Poggendorff, detta dai Francesi di Grenet. In essa zinco e carbone pescano ambedue in una miscela di acido solforico e di soluzione acquosa di bicromato potassico($K_2Cr_2O_7$) contenuta in un recipiente di vetro (fig. 219). Il carbone è costituito da due lastre parallele fisse al coperchio isolante del recipiente, piuttosto lunghe, e poco distanti fra loro. Esse pescano continuamente nel liquido. Invece lo zinco consiste in una lastra piuttosto corta, sospesa ad una verghetta di ottone fra le due lastre di carbone, in guisa che può essere abbassata nel liquido o sollevata secondo che si vuole la corrente o no.

L'acido solforico svolge dal bicromato dell'ossigeno che ossida l'idrogeno prodotto dalla reazione dello zinco coll'acido solforico.

Lo zinco è il polo —, il carbone il +.

Tale coppia offre il vantaggio che i liquidi sono contenuti in un recipiente chiuso e perciò facilmente trasportabile, non spande vapori nocivi ma, polarizzandosi presto quando è in azione, dà una corrente non costante. Tuttavia sollevando per alcuni minuti la lastra di zinco, o scuotendo il liquido, la polarizzazione scompare o diminuisce. Essa serve specialmente per correnti di breve durata.

9. Proprietà dello zinco amalgamato. — Se si immerge nell'acqua acidula una lastrina di zinco del commercio esso si consuma trasformandosi in solfato di zinco e svolgendo idrogeno per la reazione

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$$

zinco + acido solforico = solfato di zinco + idrogeno

che è quella mediante la quale si prepara ordinariamente l'idrogeno nella chimica. Ma se si strofina la lastra di zinco dapprima con acqua acidula per pulirne bene la superficie e poi con qualche goccia di mercurio, si forma superficialmente sulla lastra una lega splendente di zinco e mercurio, che costituisce lo *zinco amalgamato*.

Ora, se si immerge nell'acqua acidula una lastra di zinco amalgamato non avviene quel rapido svolgimento di gas, ma appaiono solo lentissimamente sulla superficie della lastra bollicine gazose, le quali rimangono aderenti al metallo e così proteggono questo dall'azione dell'acido, cosicchè il suo consumo è lentissimo.

Se poi si compone una coppia elettromotrice con una lastrina di zinco del commercio ed una di rame, si vede da quella svilupparsi idrogeno e consumarsi già a circuito aperto. E quando si chiude il circuito esterno, mentre continua il detto sviluppo di idrogeno dallo zinco, avviene un secondo sviluppo d'idrogeno dalla lastra di rame, il quale nasce dalla corrente, perchè cessa e ricomincia ogniqualvolta si interrompe o si ristabilisce il circuito di questa.

Invece se si ripete tale esperienza con una lastra di zinco amalgamata e una di rame, si vede svilupparsi idrogeno da questa solo quando si chiude il circuito, mentre non avviene sviluppo di idrogeno dallo zinco, sia il circuito aperto o chiuso.

Collo zinco del commercio si ha pertanto consumo di tale metallo anche a circuito aperto, quando non si fa uso della corrente; invece collo zinco amalgamato si ha consumo di questo metallo solo a circuito chiuso, quando si fa uso della corrente.

Il consumo di zinco a circuito chiuso e il corrispondente sviluppo di idrogeno dal rame è una necessità inevitabile perchè la corrente elettrica è una forma di energia, la quale quindi non si può avere dal nulla ma solo dal consumo di un'altra forma di quella, che in questo caso è l'energia poten-

ziale chimica dello zinco e dell'acido solforico. Ma il consumo di zinco a circuito aperto è uno spreco che importa evitare.

Lo sviluppo dell'idrogeno dal rame a circuito chiuso è una conseguenza della corrente interna, poichè il rame, come si è già detto, è elettronegativo entro al liquido, e quando si conduce una corrente elettrica nell'acqua acidula mediante lastre metalliche immerse in questa, il liquido viene decomposto, e l'idrogeno si svolge sulla lastra negativa, come si vedrà nello studio degli effetti chimici della corrente elettrica.

Si spiega lo svolgimento dell'idrogeno dallo zinco del commercio a circuito aperto osservando che esso è generalmente impuro, cioè contiene particelle di altri corpi, siccome carbone, ferro, arsenico, piombo, le quali formano con quelle dello zinco coppie elettromotrici, facendo le veci del rame. Infatti lo zinco puro si comporta come lo zinco amalgamato.

Ora coll'amalgamazione dello zinco quelle particelle restano protette dal contatto dell'acqua acidula, cosicchè non possono formare coppie elettromotrici collo zinco. Di più l'idrogeno che si svolge lentissimamente dallo zinco amalgamato rimane aderente a questo e lo protegge dall'azione del liquido.

Perciò nelle pile conviene adoperare zinco amalgamato.

In fine lo svolgimento dell'idrogeno dal rame e non da tutte le molecole dell'acqua acidula interposte fra lo zinco e il rame si interpreta oggidì coll'ipotesi della *dissociazione elettrolitica* che si accennerà in seguito.

§ 74. Leggi fondamentali della corrente elettrica.

1. Intensità di una corrente elettrica. — La corrente elettrica essendo un passaggio continuo di elettricità in un circuito conduttore, l'intensità di una corrente elettrica deve evidentemente corrispondere alla quantità di elettricità che passa per ogni sezione del circuito nella unità di tempo; quindi si denomina *intensità di una corrente elettrica* in un circuito: *la quantità di elettricità che passa in ogni sezione del medesimo nella unità di tempo.*

Le intensità delle correnti elettriche si determinano mediante gli effetti che producono; fra questi i più facili e spediti a misurarsi sono le deviazioni galvanometriche.

2. Forza elettromotrice. — Si è già definita (pag. 298) questa grandezza elettrica che corrisponde alla differenza di livello o potenziale elettrico dei poli di una coppia.

3. Leggi della resistenza elettrica. — Come i canali per cui scorre l'acqua oppongono una resistenza al movimento di essa, la quale dipende dalla lunghezza del canale, dalla sua ampiezza e dalla qualità del materiale da cui è costituito, così pure i fili per cui si fanno passare le correnti elettriche oppongono una resistenza al passaggio delle medesime, la quale, a parità di materia, dipende dalla lunghezza e sezioni dei fili, e a parità

di lunghezza e sezione, varia da un filo all'altro, cioè dipende dalla materia dei fili.

Facendo passare la corrente di una coppia elettromotrice per fili metallici di diversa materia, lunghezza, e sezione, e per uno strumento di misura dell'intensità delle correnti, Pouillet ha dimostrato sperimentalmente le seguenti leggi:

1° *A parità di materia e sezione la resistenza di un conduttore al passaggio della corrente è direttamente proporzionale alla sua lunghezza.*

2° *A parità di materia e di lunghezza la resistenza è in ragione inversa della sezione del filo.*

3° *A parità di sezione e di lunghezza la resistenza dipende dalla materia del conduttore.* Ciascuna materia, a parità di sezione e di lunghezza, presenta una particolare resistenza, che si denomina *resistenza specifica.*

Per es. la resistenza del ferro è circa 7 volte maggiore di quella del rame, e 8 volte maggiore di quella dell'argento.

4. Formola della resistenza. — Dalle leggi precedenti consegue che rappresentando

— con k la resistenza specifica,
— » l la lunghezza,
— » s la sezione di un filo,
— » r la resistenza totale del conduttore,

fra queste quantità sussiste la relazione:

$$r = k\frac{l}{s}.$$

5. Resistenza dei liquidi e delle pile. — I liquidi, eccettuato il mercurio, presentano alla corrente una resistenza enorme rispetto ai metalli. Così la resistenza dell'acqua pura è milioni di volte quella del rame.

Ora le esposte leggi della resistenza elettrica valgono non solo per i fili metallici che compongono il circuito esterno delle pile, ma anche per il circuito interno di queste, cioè anche i liquidi delle coppie elettromotrici costituiscono conduttori, la cui lunghezza è la distanza delle lastre metalliche, la cui sezione è la superficie della loro parte immersa.

Per dimostrarlo si prende una coppia elettromotrice, costituita, p. es., da due lastre, una di rame e l'altra di zinco, pescanti nell'acqua acidula, e si mette nel circuito esterno uno strumento di misura. Allontanando le due lastre, si vede la deviazione dell'ago diminuire, ed inversamente, ciò che prova che la resistenza cresce colla lunghezza della colonna liquida compresa fra quelle.

Se si versa nel recipiente altra acqua acidula, oppure si immergono maggiormente le lastre, aumenta la sezione della colonna liquida compresa fra le medesime, e perciò diminuisce la resistenza interna, e l'ago devia maggiormente.

6. Legge di Ohm. — Quando un liquido passa da un recipiente in un altro, in cui i livelli sono mantenuti costanti, la quantità di liquido che fluisce per il canale di comunicazione nell'unità di tempo dipende dalla differenza

di livello e dalla resistenza che incontra il liquido nel canale. Analogamente avviene per le correnti elettriche. La quantità di elettricità che passa nel circuito nell'unità di tempo dipende dalla differenza di livello elettrico, cioè dalla forza elettromotrice, e dalla resistenza del circuito.

Ohm ha dimostrato pel primo la seguente legge che porta appunto il suo nome: *L'intensità di una corrente in un circuito è direttamente proporzionale alla forza elettromotrice del generatore della corrente, ed in ragione inversa della resistenza totale del circuito.*

La resistenza totale si compone: 1° della resistenza dell'elettromotore, la quale costituisce la *resistenza interna*; 2° della resistenza del circuito esterno o *resistenza esterna*.

7. Formola dell'intensità della corrente elettrica. — Rappresentando:

con i l'intensità della corrente,
» ρ la resistenza interna.
» r la resistenza esterna,
» ε la forza elettromotrice,

la precedente legge è espressa algebricamente dalla formola:

$$i = \frac{\varepsilon}{\rho + r}.$$

E rappresentando con R la resistenza totale interna ed esterna, cioè ponendo $R = \rho + r$, si ha:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

ovvero

$$\varepsilon = i\,R.$$

8. Unità industriali elettriche. — In elettrotecnica, per ragioni teoriche e pratiche discusse dagli elettricisti, che per brevità si omettono, vennero adottate le seguenti unità per le grandezze elettriche sopra nominate:

1° Per la forza elettromotrice il *Volta* che prossimamente corrisponde alla forza elettromotrice di un elemento Daniell.

2° Per la resistenza l'*Ohm* che è la resistenza presentata al passaggio della corrente da una colonna di mercurio di 1 mm^2 di sezione e della lunghezza di 106 *cm.*, alla temperatura di 0°.

3° Per la intensità della corrente l'*Ampère* che, per la formula di *Ohm*, è la corrente prodotta da un *Volta* in un circuito la cui resistenza complessiva è di un *Ohm*. $1\ \text{Ampère} = \frac{1\ \text{Volta}}{1\ \text{Ohm}}$.

4° Per la quantità di elettricità il *Coulomb*, quella quantità di elettricità che passa in un secondo per la sezione di un conduttore percorso da un *Ampère*.

5° Infine, come unità di lavoro elettrico, il *Joule* che, presso a poco, corrisponde alla frazione $\frac{1}{9{,}8}$ di Chilogrammetro; la corrispondente unità di

potenza si chiama *Watt* ed è tale che un cavallo vapore corrisponde a circa 735 *Watt*.

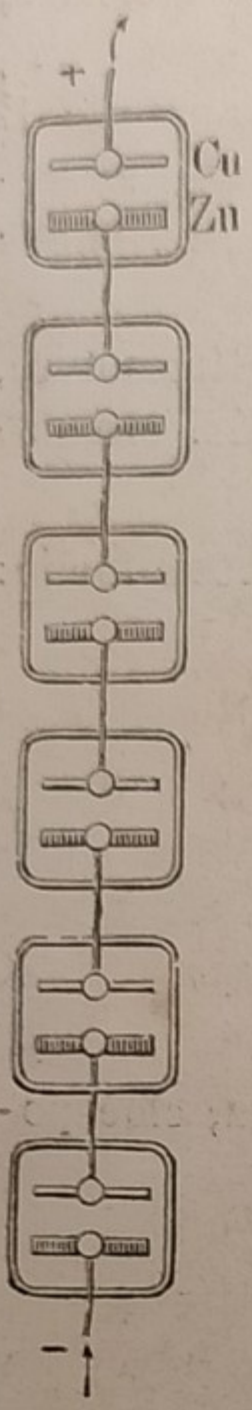


Fig. 220.

9. Aggruppamento delle coppie elettriche. — Le coppie di una pila si possono riunire fra loro in diverse maniere che si dicono: *aggruppamento in serie o tensione; aggruppamento in superficie o in quantità, e aggruppamento misto.*

Il primo modo di aggruppamento risulta riunendo il polo + della prima coppia col — della seconda, il polo + di questa col polo — della terza, e così di seguito, permodochè rimane libero un polo della prima coppia e quello contrario dell'ultima.

È l'aggruppamento già indicato per la pila di Volta e le sue modificazioni. Esso è rappresentato schematicamente nella fig. 220 per sei coppie.

Tale disposizione conviene quando la resistenza esterna è assai grande in confronto di quella interna di una coppia, come quando la corrente deve percorrere molti chilometri di filo telegrafico, che presentano grande resistenza, *per vincere la quale si richiede grande forza elettromotrice.*

Ora col crescere del numero degli elementi si accresce la forza elettromotrice e la resistenza interna ma, l'aumento di questa essendo trascurabile in confronto della grande resistenza esterna, rimane preponderante l'aumento della forza elettromotrice.

L'aggruppamento in superficie risulta riunendo mediante un filo, o una lamina conduttrice, tutti i poli + fra loro, e con un'altra tutti i poli —. Esso è rappresentato schematicamente dalla fig. 221 per sei coppie.

Così con n coppie risulta una pila in cui la forza elettro motrice è la stessa di quella di una sola coppia, ma la cui superficie è n volte maggiore e quindi la resistenza interna è n volte minore.

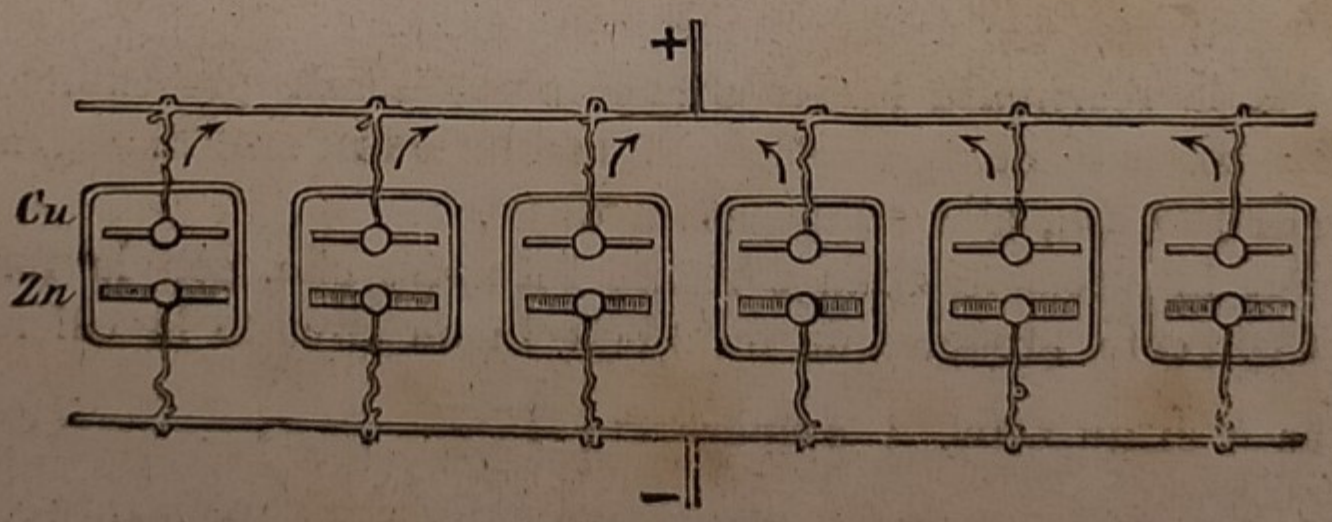


Fig. 221.

Tale aggruppamento conviene quando la resistenza esterna è assai piccola, come quando si tratta di arroventare un corto filo metallico, che presenta poca resistenza al passaggio della corrente, perchè in questo caso basta

una piccola forza elettromotrice, e aumentando la superficie interna si diminuisce la resistenza interna, e quindi si accresce l'intensità della corrente.

Infine l'*aggruppamento misto* risulta dividendo n coppie in x gruppi di $\frac{n}{x}$ coppie ciascuno, unite, ad esempio, in superficie, e riunendo poi i gruppi fra loro in serie.

Per es. 6 coppie si possono riunire in 2 gruppi in serie di 3 coppie disposte in superficie, od in 3 gruppi in serie di 2 coppie in superficie.

In generale conviene riunire le coppie in modo che la *resistenza interna sia eguale all'esterna.*

10. Correnti derivate. — A quel modo che l'acqua di un fiume quando incontra due vie si divide in due rami, e la quantità di liquido che passa per ciascuno è tanto maggiore quanto minore è la resistenza che esso presenta al passaggio del liquido, così pure, quando un conduttore in un punto si divide in due o più rami, che poi di nuovo si riuniscono in un altro punto, la corrente elettrica giunta nel primo punto si divide pure in due o più correnti, le quali percorrono i diversi rami, e si dicono *correnti derivate. Le relative intensità delle correnti nei diversi rami sono proporzionali alle conduttività di questi, cioè inversamente proporzionali alle loro resistenze.*

Si può illustrare il fatto diramando una corrente per due sonerie i cui circuiti presentino diversa resistenza.

§ 75. Effetti calorifici e luminosi delle correnti elettriche.

1. Arroventamento dei fili metallici. — Si è già accennato (paragr. 69) che la corrente elettrica somministrata da due lastre metalliche, una di rame e l'altra di zinco, alquanto grandi (da uno a due decimetri quadrati di superficie), immerse nell'acqua acidula, arroventa un sottile filo di platino che chiude il circuito della corrente all'esterno. Ciò prova che essa riscalda il circuito per cui passa.

Per dimostrare più estesamente questo fatto importante conviene disporre di una corrente elettrica alquanto energica, per es., almeno di quella somministrata da circa 6 coppie Bunsen. Allora si può mantenere incandescente un filo di platino alquanto lungo avvolto a spirale.

Se la stessa corrente si fa passare per fili di ferro e altri metalli più fusibili del platino, e abbastanza sottili e corti, si vede che essi fondono riducendosi in globetti roventi.

Con una corrente abbastanza intensa si possono fondere tutti i metalli e persino il platino e l'iridio che richiedono la temperatura di circa 2000° per fondere.

Il carbone è il solo dei corpi conduttori che non si sia lasciato fondere dalla corrente elettrica. Però Despretz, con una pila di Bunsen di 600 coppie, ha portato delle verghe di carbone purissimo ad uno stato di mollezza tale che si poterono saldare assieme.

2. Legge di Joule (1841). — Facendo passare una corrente elettrica per fili metallici diversi avvolti a spirale, e immersi in un *calorimetro* ad alcool, Joule scoprì la seguente legge che porta appunto il suo nome: *la quantità di calore sviluppata da una corrente in un conduttore, nell'unità di tempo, è direttamente proporzionale alla resistenza del medesimo e al quadrato dell'intensità della corrente.*

Perciò se si fa passare una corrente di conveniente intensità per una catenella composta di pezzi alternati di rame e platino di eguale diametro, i pezzi di platino divengono roventi e non quelli di rame, perchè il primo è meno buon conduttore del secondo. Inoltre il platino diviene anche più facilmente incandescente del rame perchè ha minor *calore specifico*, cioè richiede, a parità di peso, minore quantità di calore per acquistare la stessa temperatura (pag. 51).

E se si fa passare una corrente di conveniente intensità per una catenella composta di pezzi di platino alternativamente più e meno sottili, si vedono i primi divenire incandescenti e non i secondi, perchè la resistenza di uno stesso metallo è in ragione inversa della sua sezione.

3. Espressione algebrica della legge di Joule. — Rappresentando:
con i l'intensità della corrente;
» r la resistenza del conduttore;
» q la quantità di energia che si trasforma in calore nell'unità di tempo, la precedente legge è espressa dall'eguaglianza:

$$q = i^2 r.$$

4. Applicazioni dell'arroventamento galvanico. — L'arroventamento galvanico riceve parecchie applicazioni; per es., nella chirurgia viene usato per cauterizzare e tagliare tumori, mediante un filo di platino arroventato.

L'arroventamento galvanico viene pure applicato all'accensione delle mine a distanza, e a produrre esplosioni sotto l'acqua. Perciò nella cartuccia contenente le sostanze esplosive si fa passare un filo di platino, o di ferro, comunicante con una pila collocata a distanza. Il filo arroventandosi quando passa la corrente accende le materie esplosive.

5. Lampade ad incandescenza. — La corrente elettrica può divenire sorgente di luce quando essa rende incandescente una parte del circuito che percorre, e dà luogo allora alla *luce elettrica*. Questa si ottiene in due maniere, cioè colle *lampade ad incandescenza*, o colle *lampade ad arco*. Le prime si adoperano specialmente per l'illuminazione delle case, e le seconde delle vie, piazze, stazioni, officine, ecc.

Fig. 222.

Le lampade ad incandescenza consistono in un globetto di vetro (fig. 222) vuotato d'aria, in cui vi è un filo di carbone ricurvo, fissato ai due capi a due fili di platino che attraversano il globetto di vetro in cui sono saldati. Uno dei fili di platino è congiunto ad un peduncolo di ottone e l'altro ad una ghiera pure di ottone, isolata da quello, e così quando la lampada è messa nel portalume a cui fanno capo i reofori, il filamento si trova nel circuito. Il globo di vetro non deve contenere ossigeno od altro gas capace di combinarsi col carbone, se no questo sparisce. Ordinariamente in queste lampade si fa il vuoto fino a 0,03 *mm.* di mercurio.

Il carbone conviene meglio del platino e di qualsiasi altro metallo, sovratutto perchè non fusibile.

La temperatura del filamento incandescente è almeno 1800° e può giungere a 2500°.

Tuttavia, sebbene il carbone non si lasci fondere come i metalli dalla corrente elettrica, alla lunga si disaggrega e si depositano particelle del medesimo sulle pareti del palloncino, che lo

offuscano; motivo per cui anche le lampade ben fatte, e non esposte all'azione di correnti elettriche troppo forti, hanno una durata limitata da 700 a 1000 ore.

La loro luce varia a seconda delle dimensioni della lampada, da 1 a 100 candele, ma le più usate per l'illuminazione sono quelle da 16 candele.

Le lampade ad incandescenza vengono ordinariamente disposte in derivazione (pag. 377) fra due conduttori che partono dai poli dell'elettromotore, per modo che se ne possono spegnere alcune senza che le altre se ne risentano notevolmente.

Le prime lampade ad incandescenza furono quelle di Swan e di Edison, ma poi ne comparvero molte altre, come quelle di Lane Fox, di Maxim, di Cruto, ecc , le quali differiscono solo nella forma e sovratutto nella qualità e resistenza del filo di carbone.

In quelle di Swan è un filo di cotone immerso prima nell'acido solforico e poi carbonizzato, il quale diviene molto elastico e quasi metallico; nelle Edison è un filo di bambou carbonizzato; nelle Maxim è una striscia di carta carbonizzata; Lane Fox prepara il filo con fibre vegetali carbonizzate. Infine nelle Cruto si ottiene oggidì il filo di carbone trafilando ad alta pressione una pasta di sostanze carboniose (zucchero trattato con acido solforico e acqua).

Ogni lampada deve essere adoperata con una corrente di potenziale determinato, segnato sulla medesima.

6. Arco voltaico. — Se si fa passare la corrente elettrica di circa 50 coppie Bunsen od altra equivalente per due verghette di carbone buon conduttore della elettricità, come il carbone detto delle storte, terminate in punta e dapprima in contatto, queste divengono incandescenti, e allora allontanandole alquanto si stabilisce fra le medesime un arco splendidissimo, detto *arco voltaico* (fig. 223), costituito da particelle di carbone, le quali vengono continuamente distaccate dalla corrente dalle due punte, ma specialmente da quella +, e portate verso l'altra in linea curva. Perciò la punta positiva si incava in forma di coppa, o cratere, mentre quella — si allunga alquanto.

L'arco voltaico assieme colle punte incandescenti costituisce la più intensa luce artificiale la quale, mediante le più forti cor-

renti elettriche, può acquistare un'intensità luminosa equivalente a quella di 100000 candele.

Secondo il prof. Rossetti la temperatura della punta positiva è circa 3900°, quella della negativa di 3150°, e quella dell'arco di 4800°. Secondo le recenti esperienze di Violle la temperatura del cratere positivo sarebbe però solo di 3500° qualunque sia l'intensità della corrente.

Nel vuoto, o in un gas incapace di combinarsi col carbonio, si consuma specialmente la punta +, pel trasporto di particelle

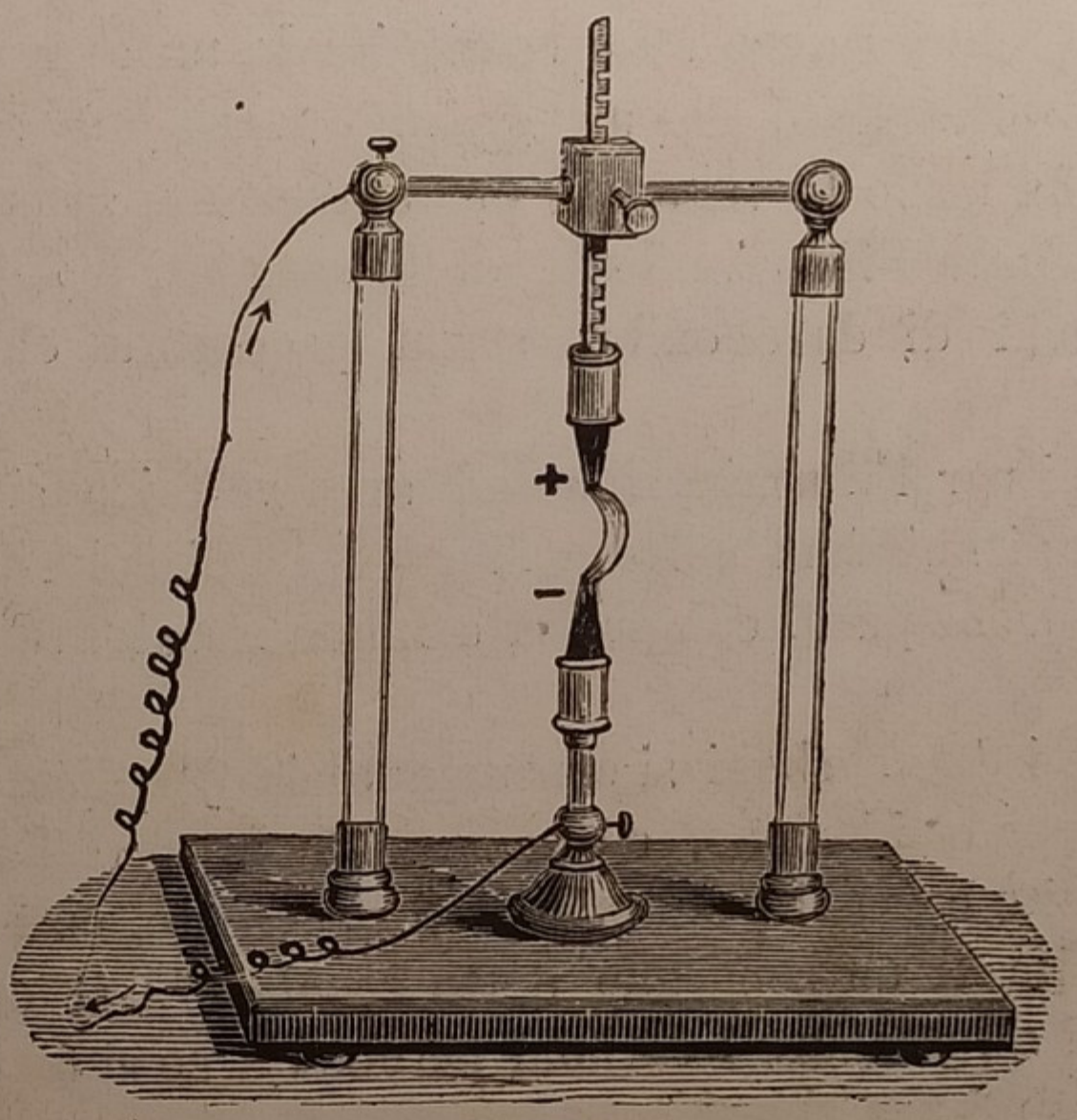


Fig. 223.

sulla punta —; ma nell'aria avviene consumo di entrambi i carboni per la loro combustione; però il consumo del carbone + è circa doppio del — se la corrente ha direzione costante. Invece, colle correnti alternate, somministrate da elettromotori speciali detti *alternatori*, il consumo dei due carboni è uguale.

Non si può esaminare direttamente l'arco voltaico perchè la sua luce troppo viva abbaglia ed offende la vista, e non conviene guardarla da vicino senza occhiali affumicati. Per osservarne i particolari si proietta la sua immagine reale su di uno schermaglio bianco con una lente convergente; allora si scorge che

l'arco è un tratto luminoso circondato da un'aureola violacea e, come già si è detto, che il carbone — resta acuminato, mentre il + si incava e diviene crateriforme. Di più, sui due carboni appaiono globetti incandescenti dovuti a goccioline di scorie minerali che costituiscono poi le ceneri.

Infine la forma dell'arco varia colla forza elettromotrice della corrente elettrica. Con forze elettromotrici che arrivano a circa 20000 Volta assume la forma di lunghe lingue di fuoco.

L'arco voltaico venne ottenuto per la prima volta da Davy in Inghilterra, nel 1820.

Le **Lampade ad arco** sono costituite da un arco voltaico ordinariamente circondato da un globo opalescente di vetro, sia perchè offenda meno la vista, sia per aumentare la superficie luminosa ed evitare l'inconveniente delle sorgenti luminose di piccole dimensioni di dare ombre senza penombra che stancano l'occhio.

I carboni per l'illuminazione ad arco voltaico si fanno con una miscela di finissima polvere di grafite e di coke agglomerata mediante godrone puro, compressa e infine riscaldata in appositi forni.

Siccome i due carboni si consumano sia per distacco di particelle, sia per ossidazione, e aumentando la loro distanza oltre un certo limite cessa il passaggio della corrente, così ogni lampada è munita di un congegno detto *regolatore* il cui ufficio è dapprima di allontanare i carboni perchè l'arco si formi e poi di avvicinarli a misura che si consumano.

Le lampade ad arco, a differenza di quelle ad incandescenza (pag. 379), si dispongono *in serie*, una dopo l'altra in guisa che la corrente destinata ad alimentare un gruppo di lampade le attraversa successivamente e perciò deve avere l'intensità necessaria per una sola, ma ai due poli deve avere una differenza di potenziale eguale alla somma dei potenziali richiesti da ciascuna lampada. Così per alimentare 50 lampade Thomson-Huston, disposte in serie, ciascuna delle quali richiede 10 ampère e 50 Volta, si richiede una corrente di 10 ampère e 2500 Volta.

7. — L'elevatissima temperatura dell'arco viene utilizzata nei così detti **forni elettrici**, la cui parte essenziale è un arco voltaico alimentato da correnti di grandissima intensità che può giungere a migliaia di ampère.

L'arco si produce in una cavità praticata in blocco di materia refrattaria come la calce.

In questi forni si fondono rapidamente i metalli, si riducono gli ossidi irreducibili col carbone, si producono artificialmente piccoli diamanti, si estraggono alcuni metalli dai loro composti, come l'alluminio, si prepara il carburo di calcio, il carburo di silicio o *carburundum* che compete col diamante per la sua durezza.

8. — Infine oggidì mediante le correnti elettriche si portano in pochi secondi grosse sbarre di ferro all'incandescenza e si pratica così la **fucinatura elettrica.**

§ 76. Le correnti termoelettriche ed il fenomeno Peltier.

1. Esperienza di Seebeck. — Se si pone nel meridiano magnetico (paragrafo 68) un rettangolo formato con 2 lastre, o verghette, una (BCC′B′, fig. 224) di rame, l'altra (BB′) di bismuto, nell'interno del quale trovasi un ago calamitato mobile, e poi si riscalda una delle giunture dei due metalli, si vede che l'ago devia, indicando una corrente diretta dal bismuto al rame attraverso ai punti di contatto riscaldati. È questa l'esperienza detta di Seebeck (1821).

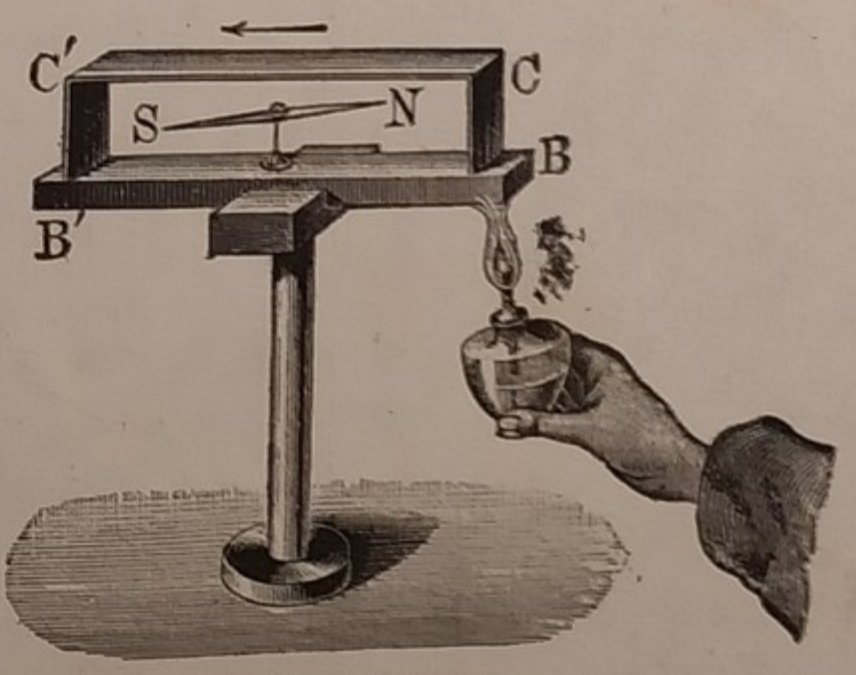


Fig. 224.

2. Correnti termoelettriche. — Se si ripete l'esperimento precedente con un rettangolo formato con rame e antimonio l'ago indica una corrente diretta dal 1° al 2° attraverso i punti di contatto riscaldati. Nè solo per l'accoppiamento del rame col bismuto o l'antimonio, ma con due metalli qualunque, si ottiene col riscaldamento una corrente diretta in un determinato verso. In generale, quando in un circuito metallico chiuso, formato da due metalli diversi, si porta una delle giunture ad una temperatura diversa da quella dell'altra, si manifesta una particolare *forza elettromotrice* che si dice *termoelettrica*, e le correnti che così nascono diconsi *termoelettriche*. Questa forza elettromotrice è in generale assai più debole di quella delle correnti date dalle coppie idroelettriche, e *dipende dalla differenza delle temperature delle due giunture, dai valori delle temperature stesse e dalla natura dei metalli costituenti la coppia.*

3. Punto neutro e temperatura d'inversione della corrente. — Se in una data coppia di due metalli si mantiene costante, per es. a 0°, una delle giunture, e si accresce successivamente la temperatura dell'altra, la cor-

corrente termoelettrica cresce in generale col riscaldamento e raggiunge un valore massimo ad una determinata temperatura detta *punto neutro*, al di là della quale, continuando a riscaldare, la corrente invece di crescere diminuisce fino a divenire nulla ad un'altra temperatura detta *punto* o *temperatura d'inversione*, oltre la quale la corrente si inverte.

Per es., la coppia ferro rame, con una delle giunture a 0°, dà una corrente crescente col riscaldamento fino a 275° che è il suo *punto neutro*, indi continuando a riscaldare la corrente diminuisce e si annulla a + 550°, che è la *temperatura d'inversione*.

Ogni coppia termoelettrica ha un determinato punto neutro, perciò non conviene riscaldare la coppia oltre un certo limite.

4. Riunendo più coppie termo-elettriche in serie, come si fa per le pile ordinarie, si ottengono le **pile termo-elettriche**, le quali però, per la loro debole forza elettromotrice e il piccolo rendimento, non hanno finora applicazioni industriali, ma solo scientifiche. Perciò si usano speciamente il bismuto e l'antimonio, perchè fra 0° a 100° l'intensità della corrente è sen-

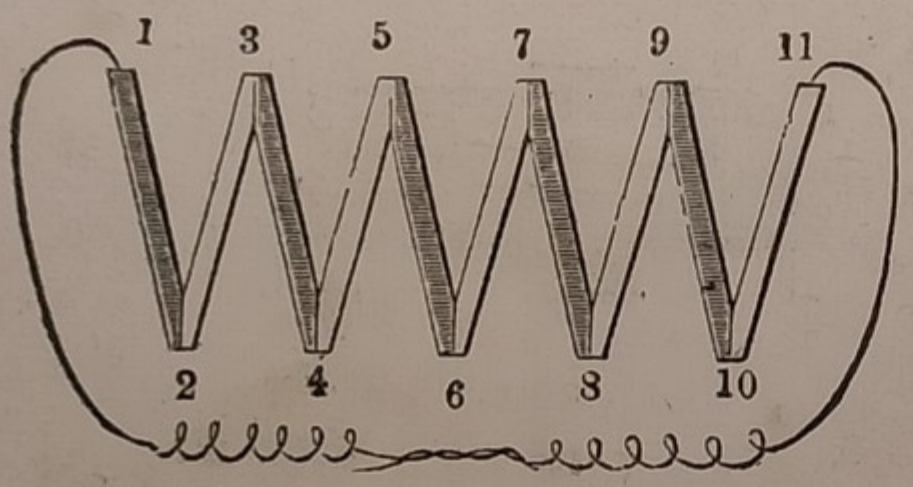


Fig. 225.

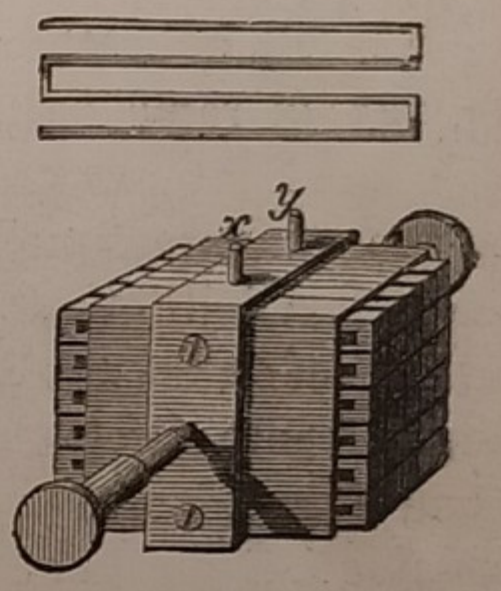


Fig. 226.

sibilmente proporzionale alla differenza di temperatura delle due giunture. Si saldano (fig. 225) verghette di bismuto (1-2, 3-4, 5-6, ecc.) pei loro capi, a verghette di antimonio (2-3, 4-5, 6-7, ecc.).

Per ottenere la corrente si scaldano, per esempio, le sole saldature impari (superiori), mentre le pari (inferiori), si tengono a temperatura costante. La corrente va dal bismuto all'antimonio in ciascuna saldatura riscaldata, e tutte queste correnti parziali si sommano come quelle delle diverse coppie delle altre pile.

La pila termo-elettrica più usata è quella di Nobili (1830), la quale consta di verghette di bismuto e antimonio, lunghe da 2 a 3 centimetri, saldate assieme ai loro capi, così che tutte le saldature di ordine pari (2, 4, ecc.) si trovano ad un'estremità, e tutte quelle di ordine dispari (1, 3, ecc.) all'altra. Le verghette sono raccolte parallelamente insieme, ma separate nella loro lunghezza da materia isolante, cosicchè formano un piccolo parallelepipedo (fig. 226), che si chiude in un astuccio metallico di pari forma, nel quale trovansi i poli (x, y) che corrispondono alla 1ª verghetta di bismuto e all'ultima di antimonio.

Si costruiscono anche pile termo-elettriche, nelle quali le saldature formano una linea invece di un piano, cioè *pile termoelettriche lineari*, e di altre forme.

5. Termo-moltiplicatore di Melloni. — Le faccie delle saldature possono essere coperte con dischetti mobili, e ad esse si possono ancora adattare specchi conici, destinati a concentrare i raggi calorifici, come nel *termomoltiplicatore* di Melloni, costituito da una pila termoelettrica congiunta con un galvanometro. Tale apparecchio è assai prezioso nella dottrina del calore, perchè costituisce un delicatissimo termometro col quale, secondo Melloni, si possono apprezzare differenze di temperatura di $^1/_{5000}$ di grado.

6. Fenomeno Peltier. — Si è visto che scaldando una delle giunture di un circuito di metalli diversi si genera una corrente. Reciprocamente se si fa passare una corrente esterna per tale circuito, la giuntura si riscalda o si raffredda secondo il verso della corrente, per es. se si fa passare la corrente di una coppia Bunsen per la giuntura dell'antimonio col bismuto, questa si riscalda se la corrente è diretta dal 1° metallo al 2°, ed invece si raffredda se la corrente passa dal 2° metallo al 1°. Il cambiamento di temperatura così prodotto nella giuntura è dunque di senso contrario a quello che si richiederebbe per generare una corrente diretta nello stesso senso.

Questo fenomeno fu scoperto da Peltier nel 1834.

§ 77. Effetti chimici della corrente elettrica.

1. Scomposizione dell'acqua. — Facendo attraversare l'acqua da una corrente elettrica essa si scompone nei suoi due elementi costituenti, che sono l'ossigeno e l'idrogeno. L'esperienza si fa con un apparecchio detto *voltametro* che, nella sua forma più comune (fig. 227), consiste in un recipiente di vetro dal cui fondo si sollevano due laminette o fili (a, b) di platino, che comunicano con due viti, a cui si attaccano i reofori di una pila. Se si versa dapprima acqua pura nel recipiente, e poi si attaccano alle due viti due reofori comunicanti coi poli di una pila di due o tre coppie Bunsen, non si osserva alcun fenomeno. Ma se si versa nell'acqua un poco di acido solforico (H_2SO_4) tosto si vedono svilupparsi dai fili, o laminette di platino, numerose bolle di gas.

Per *raccogliere i due gas* si capovolgono sugli elettrodi due campanelle piene anch'esse di acqua acidula, e allora si scorge che nella campanella (H) sovrapposta all'elettrodo — si raccoglie

in egual tempo un volume di gas doppio di quello dell'altra campanella (O).

Per *riconoscere i due gas*, quando la campanella dell'idrogeno ne è piena, la si toglie dal recipiente, e tenendola colla bocca in basso (perchè l'idrogeno è più leggiero dell'aria) vi si introduce un cerino o stecchetto di legno acceso; allora si vede che questo si spegne, mentre l'idrogeno stesso si accende e brucia con debolissima luce. Indi si leva la campanella dell'ossigeno, e

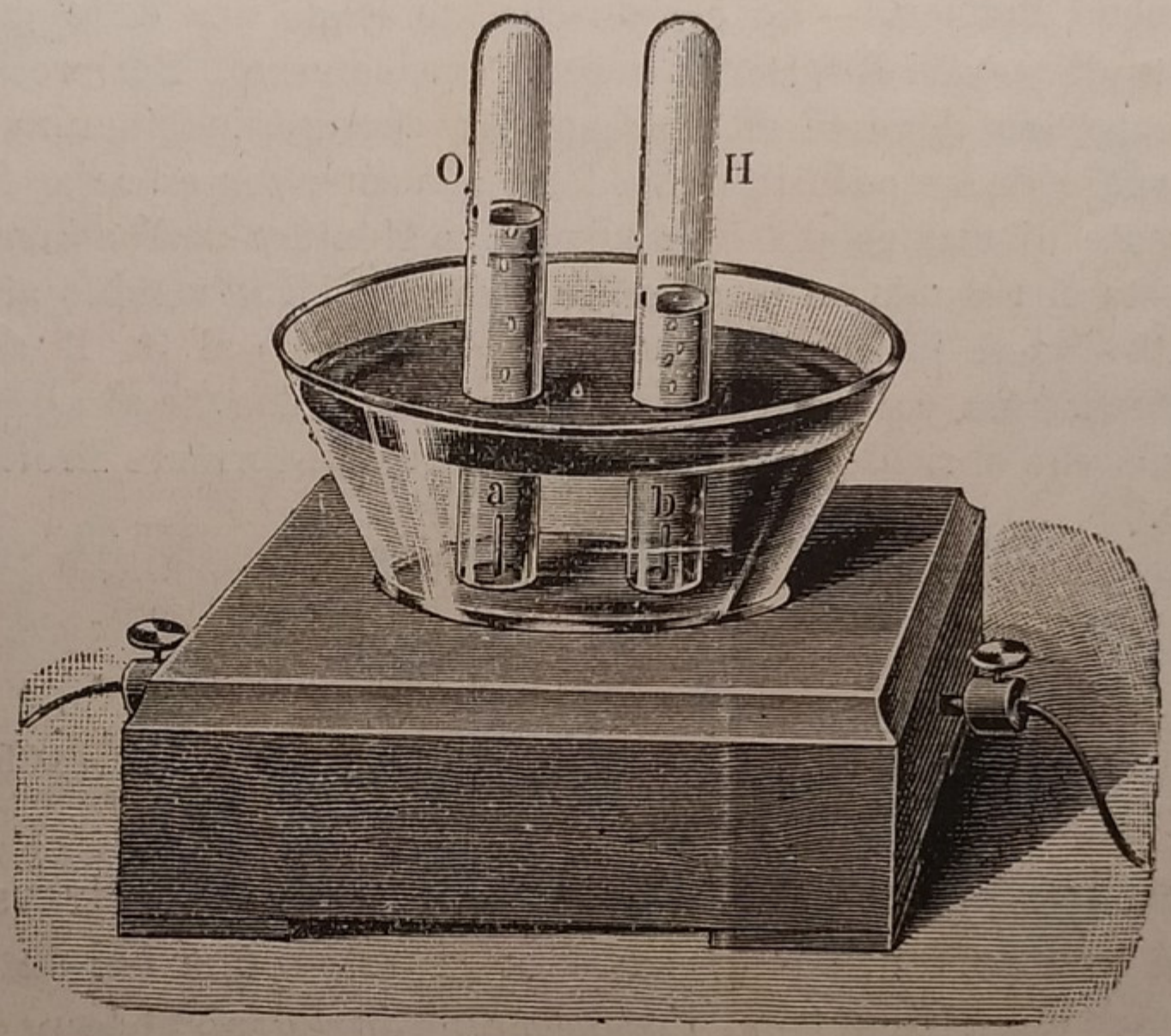


Fig. 227.

tenendola colla bocca in alto (perchè l'ossigeno è più pesante dell'aria) vi si introduce uno stecchetto di legno colla sola estremità carbonizzata ignescente; si vede così questo accendersi e bruciare con viva luce.

2. Elettrolisi. — Nè solo l'acqua, ma in generale *tutti i corpi composti, ridotti allo stato liquido, mediante fusione o soluzione, quando sono attraversati da una corrente elettrica vengono decomposti; una parte dei componenti si svolge sul filo o lamina positiva, per cui la corrente entra nel liquido, e l'altra parte si svolge sul filo o lamina negativa, per cui la corrente esce dal liquido.*

Tale fenomeno importantissimo denominasi *elettrolisi*.

Il corpo sottoposto all'elettrolisi dicesi *elettrolito;* i fili o lamine metalliche immersi nel liquido, pei quali la corrente entra ed esce dall'elettrolito, chiamansi *elettrodi;* quello positivo, pel quale la corrente entra nel liquido: *anodo;* e quello negativo pel quale la corrente esce: *catodo.*

I prodotti della scomposizione che si sviluppano all'elettrodo positivo si dicono *elettro-negativi*, e quelli che si sviluppano all'elettrodo negativo si dicono *elettro-positivi.*

Infine, i prodotti della scomposizione diconsi anche *ioni;* quello che si sviluppa all'elettrodo + denominasi *anione*, e quello che si sviluppa all'elettrodo — denominasi *catione.*

3. Come si interpreta l'elettrolisi dell'acqua acidula. — Siccome nella descritta esperienza l'acqua pura non è decomposta, mentre lo è facilmente l'acqua acidulata con acido solforico, perciò i chimici ammettono che l'acido stesso viene decomposto, secondo l'eguaglianza:

$$\underset{\text{acido solforico}}{H_2SO_4} = \underset{\text{idrogeno}}{H_2} + \underset{\text{ossigeno}}{O} + \underset{\text{anidride solforica}}{SO_3}$$

(— sopra H_2; + sopra O e SO_3)

la quale significa che l'idrogeno si svolge all'elettrodo —, mentre all'elettrodo + si sviluppa il gruppo SO_4, il quale si scinde tosto in ossigeno (O), che quivi si sviluppa, e anidride solforica (SO_3), che combinandosi con una molecola di acqua ricostituisce l'acido solforico, perchè:

$$\underset{\text{anidride solforica}}{SO_3} + \underset{\text{acqua}}{H_2O} = \underset{\text{acido solforico}}{H_2SO_4}.$$

D'onde risulta che propriamente in tale esperienza i due gas idrogeno e ossigeno non provengono direttamente dalle molecole dell'acqua pura, ma bensì da quelle dell'acido solforico, il quale si può considerare come costituito da una molecola d'acqua (H_2O) e da una molecola di anidride solforica (SO_3), che riunite costituiscono una molecola di acido solforico. Ma siccome il risultato è lo stesso come se l'acqua venisse scomposta direttamente, perciò si considera la detta esperienza come *elettrolisi dell'acqua.*

4. Reazioni secondarie. — Le reazioni chimiche, le quali avvengono non direttamente per l'elettrolisi, ma per le proprietà chimiche dei prodotti dell'elettrolisi, diconsi *secondarie.* Così nell'esperienza precedente della scomposizione dell'acqua acidula, la reazione indicata dell'anidride solforica coll'acqua, per la quale nasce acido solforico, è una reazione secondaria.

5. Voltametro. — L'apparecchio sopra descritto dicesi *voltametro* perchè, come vedremo, le quantità dei due gas sviluppate

in un dato tempo sono proporzionali alle quantità di elettricità che passano nel liquido, cioè alle intensità delle correnti elettriche, e quindi possono servire alla misura di queste.

6. Il Voltametro di Hoffmann, che presenta parecchi vantaggi su quello ordinario precedentemente descritto, consta di 2 tubi di vetro (fig. 228), comunicanti inferiormente con un terzo alquanto più elevato, e munito in alto di una dilatazione. I due tubi più corti sono inferiormente attraversati da un filo di platino che termina entro ciascuno con una laminetta di platino, e in alto sono muniti di chiavette. Nel tubo più elevato si versa acqua acidula finchè questa arrivi ai capi superiori acuminati dei tubi corti, le cui chiavette si lasciano aperte; quindi si chiudono queste, si riempie d'acqua acidula il tubo più elevato, e si attaccano ai due fili di platino due reofori, che vi conducono una corrente elettrica. Così si sviluppano i due gas: idrogeno e ossigeno, nei due tubi; e aprendo le chiavette di questi si possono comodamente far uscire, e dimostrare che mentre l'idrogeno si accende, l'ossigeno accende un pezzo di legno avente un punto ignescente.

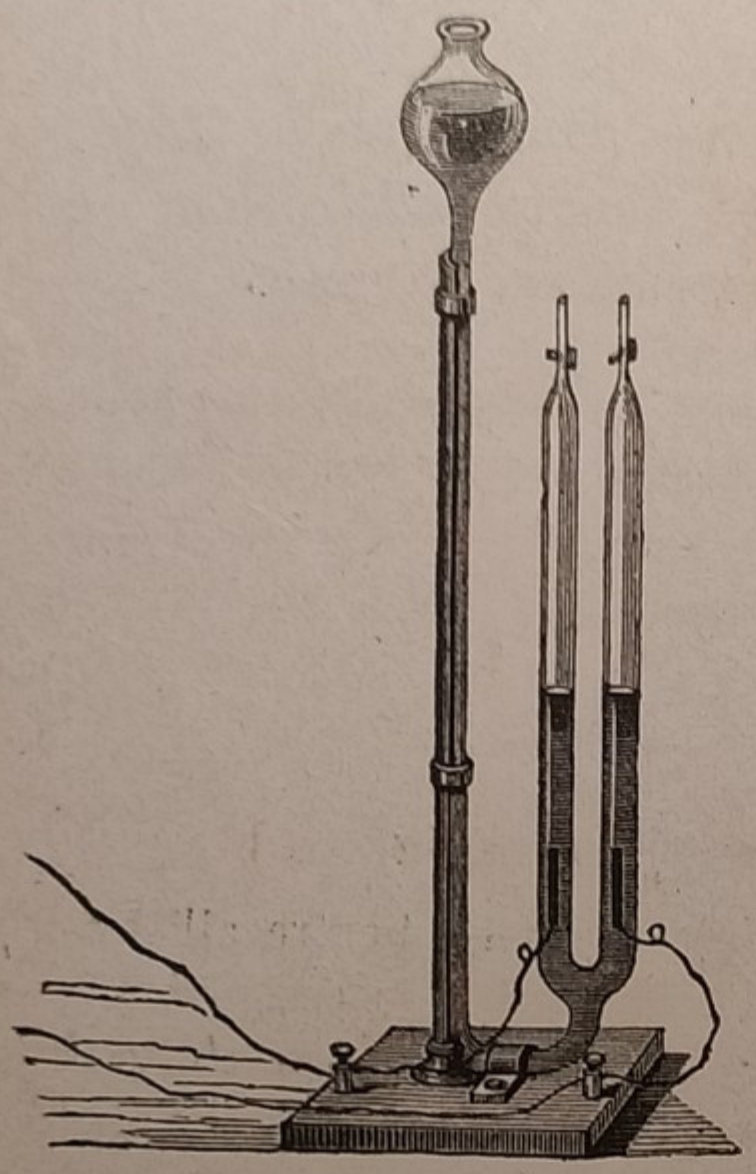


Fig. 228.

7. Elettrolisi degli acidi binari. — Se invece di un *acido ternario* ossigenato, come è l'acido solforico, si mette nell'acqua un *acido binario* non ossigenato, come l'acido cloridrico (HCl), esso viene decomposto in modo analogo, cioè secondo l'eguaglianza

$$\underset{\text{acido cloridrico}}{HCl} = \underset{\text{idrogeno}}{\overset{-}{H}} + \underset{\text{cloro,}}{\overset{+}{Cl}}$$

la quale significa che l'idrogeno si sviluppa, come precedentemente, sull'elettrodo —, mentre su quello + si sviluppa il cloro; però se tale elettrodo fosse di platino il cloro si combinerebbe con questo per formare cloruro di platino ($PtCl_4$). Per avere svolgimento di cloro all'elettrodo + bisogna adoperare un voltametro con elettrodi di carbone, e il cloro si svolge solo dopo che l'acqua in cui esso è solubile ne è satura.

8. Elettrolisi dei sali binari. — I sali binari vengono decomposti in modo analogo agli acidi binari.

Per es. il sale binario che costituisce il sale di cucina, o cloruro di sodio ($NaCl$), viene decomposto analogamente all'acido cloridrico (HCl), cioè

il metallo sodio, il quale sta nel sale al posto dell'idrogeno dell'acido, si svolge all'elettrodo —, mentre all'elettrodo + si ottiene, come prima, il cloro, il che si esprime così:

$$\overset{-}{Na}Cl = \overset{+}{Na} + Cl.$$

Anche in tal caso, perchè il cloro si svolga, bisogna adoperare un voltametro ad elettrodi di carbone. Di più, avviene una reazione secondaria anche all'elettrodo —, perchè il metallo sodio ha la proprietà di decomporre l'acqua per formare idrato sodico:

$$Na + H_2O = NaHO + H.$$
sodio + acqua = idrato sodico + idrogeno.

Quindi all'elettrodo — si svolge idrogeno proveniente dalla decomposizione dell'acqua effettuata dal sodio, mentre nel liquido rimane idrato sodico in soluzione, il quale si può manifestare mediante la carta di laccamuffa arrossata da un acido, che ripiglia il colore azzurro.

9. Elettrolisi del solfato di rame. — Un altro esempio importante di elettrolisi è quello del *solfato di rame*, ($CuSO_4$). Si fanno sciogliere cristalli di codesto sale nell'acqua, e poi si introducono in questa due lamine di platino comunicanti coi due poli di una pila; dopo pochi minuti si estraggono le lamine dal liquido e si vede che quella comunicante col polo —, cioè il catodo, si è ricoperta di uno strato rosso di rame, mentre dall'altra comunicante col polo +, cioè dall'anodo, si svolse dell'ossigeno.

La scomposizione si può indicare colla seguente eguaglianza:

$$\overset{-}{Cu}SO_4 = Cu + \overbrace{O + SO_3}^{+},$$
solfato di rame = rame + ossigeno + anidride solforica

la quale significa che il rame si deposita all'elettrodo —, mentre all'elettrodo + si sviluppa ossigeno (O) e anidride solforica (SO_3), la quale si combina coll'acqua (H_2O) e costituisce acido solforico ($H_2SO_4 = SO_3 + H_2O$), permodochè il liquido diviene acido.

Se l'anodo fosse di rame, invece che di platino, allora il gruppo SO_4 si combinerebbe immediatamente con quel metallo per formare solfato di rame, che sciogliendosi nel liquido renderebbe costante la concentrazione della soluzione del solfato.

Con due elettrodi di rame si ha un *voltametro a solfato di rame.*

10. Leggi delle decomposizioni elettrochimiche effettuate dalla corrente elettrica. — Faraday (1853) dimostrò che le decomposizioni elettrochimiche effettuate dalle correnti elettriche avvengono secondo le seguenti leggi:

1° *le quantità di uno stesso elemento sviluppate in un dato tempo sono proporzionali alle quantità di elettricità che passano nell'elettrolito.*

2° *le quantità di elementi diversi sviluppate da una stessa quantità di elettricità sono proporzionali ai loro equivalenti chimici* (ossia *ai pesi atomici divisi pei numeri che esprimono le valenze degli atomi*).

11. Equivalenti elettrochimici. — Le quantità in peso dei diversi elementi sviluppate dal passaggio di un coulomb (pag. 375) dicousi *equivalenti elettro-chimici*. Per es. l'equivalente elettrochimico dell'idrogeno è 0,00001038 *gr.*, cioè il passaggio di un coulomb nell'acqua acidula sviluppa il detto peso di idrogeno.

12. Confronto fra i galvanometri e i voltametri. — Mentre i galvanometri, colle deviazioni magnetiche, dànno le intensità delle correnti in un dato istante, il voltametro dà la misura della quantità di elettricità passata per tutto il tempo dell'esperienza. Ma se si divide il numero dei *coulomb*, determinati col voltametro, pel numero dei secondi di durata dell'elettrolisi, si ottiene l'intensità media della corrente in *ampère*, la quale coincide colla vera nel solo caso di correnti costanti.

13. Ipotesi della dissociazione elettrolitica. — Altra volta si interpretava il fatto del passaggio della corrente nei liquidi colla separazione degli ioni costituenti le loro molecole, mediante l'ipotesi di Grotthus, nella quale si ammetteva che la corrente, dopo avere orientato le molecole elettrolitiche, le separava nei loro ioni costituenti se la differenza di potenziale agli elettrodi era sufficiente.

Oggidì essendosi accertato che si può avere azione elettrolitica con potenziali e correnti estremamente deboli, si interpreta l'elettrolisi con un'altra ipotesi, detta della *dissociazione elettrolitica* proposta da Clausius (1857) e sviluppata principalmente da Arrhenius (1887). Questa ipotesi è fondata sulla nuova teoria delle soluzioni, oggi ammessa dalla maggioranza dei chimici, secondo la quale le molecole dei composti elettrolitici, quando si trovano in soluzione acquosa, sono già in massima parte dissociate, cioè separate nei loro ioni, formati da atomi o gruppi di atomi, la quale separazione dicesi *ionizzazione*. Gli ioni separati di ogni molecola elettrolitica posseggono ciascuno una propria carica elettrica; il *catione* o ione elettropositivo (che si svolge poi sull'elettrodo negativo) possiede una *carica positiva*, e l'*anione* o ione elettronegativo (che si svolge poi sull'elettrodo positivo) possiede una *carica negativa* eguale e contraria. Questi ioni elettrizzati si muovono irregolarmente in tutte le direzioni fra le molecole del solvente quando non vi è differenza di potenziale fra due punti dell'elettrolito. Ma se nella soluzione ionizzata si introducono due elettrodi a potenziale diverso, allora, anche per piccolissima differenza di potenziale, gli ioni che prima vagavano disordinatamente in ogni verso vengono orientati e si

muovono con direzione e velocità determinata secondo le linee di forza del campo elettrico così generato dagli elettrodi; gli ioni positivi o *cationi* delle molecole elettrolitiche vanno nel verso della corrente fino al catodo od elettrodo — dove si scaricano, e gli ioni negativi o *anioni* vanno invece all'anodo o elettrodo +, movendosi in verso contrario alla corrente, e cedono a questo la loro carica. Perciò durante il passaggio della corrente si ha un doppio movimento di ioni elettrizzati verso gli elettrodi a contatto dei quali essi perdono le loro cariche elettriche e divengono liberi.

Pertanto secondo questa ipotesi non è la corrente che decompone gli elettroliti nei loro ioni, perchè questi sono già dissociati o separati nelle soluzioni, in proporzione tanto maggiore quanto maggiore, fino ad certo limite, è il grado di diluizione. Anzi il passaggio della corrente per un elettrolito è dovuto al fatto che questo è già dissociato nei suoi ioni i quali si muovono verso gli elettrodi trasportando le loro cariche elettriche per il fenomeno detto *convezione*. La corrente non fa che ordinare ed orientare il movimento degli ioni vincendo le resistenze che essi incontrano in seno alle molecole del solvente.

14. Galvanoplastica ed elettrotipia. — Mediante l'elettrolisi si possono riprodurre le forme degli oggetti, come le medaglie, le incisioni in legno o metallo, i bassorilievi e perfino i monumenti, il quale processo chiamasi *galvanoplastica*.

Per es., per riprodurre una medaglia di metallo, o di gesso, bisogna prima procurarsi la cosidetta *matrice* o *negativa*, cioè una copia nella quale le prominenze sono sostituite da depressioni, ed inversamente. A tale scopo si usa una lega fusibile o una materia plastica, siccome la cera bianca, la stearina, la gelatina, e sovratutto la guttaperca. Le tre prime sostanze si versano fuse sul modello leggermente riscaldato e ben netto; esse si solidificano per raffreddamento e si distaccano facilmente dal modello. La guttaperca si ammollisce nell'acqua calda a 60° e la si applica premendola sull'oggetto.

Per rendere conduttrice la superficie della matrice la si ricopre, mediante adatto pennello, con uno strato sottile di grafite, in polvere impalpabile. Indi la si fascia con un nastro di piombo, o con fili di rame comunicanti colla grafite, mentre la superficie rimanente, sulla quale non si deve depositare il rame, si ricopre con cera o ceralacca.

Così preparata la matrice si sospende in un bagno di solfato di rame, come elettrodo negativo, mentre l'elettrodo positivo è costituito da una lastra di rame.

Allora facendo passare nel bagno una corrente elettrica adatta (non troppo forte), essa deposita sulla matrice uno strato di rame con prominenze e depressioni inverse a quelle della medesima, e quindi corrispondenti a quelle del modello.

Questo strato metallico si distacca facilmente dalla matrice, perchè la grafite ne impedisce l'aderenza.

Il metodo ora esposto somministra dunque il mezzo di riprodurre, con poca spesa e con molta esattezza, medaglie rare e preziose, bassorilievi, statuette e anche monumenti di grandi dimensioni, che si riproducono per parti, le quali poi si riuniscono assieme.

Un assai utile impiego ha ricevuto la galvanoplastica per la preparazione dei così detti *clichés tipografici*, che sono modelli in rame delle incisioni in legno fatte dagli incisori per le figure dei libri. Queste incisioni in legno non possono sopportare la stampa di molte migliaia di copie senza logorarsi, cosicchè finiscono per dare immagini confuse. Oggidì esse si usano, il più sovente, solo per ottenere modelli in rame dalle medesime, o *clichés*, mediante la galvanoplastica, dai quali si ottengono poi i disegni di stampa; quando anche questi *clichés* sono logori, si riproducono dall'incisione in legno, che così si conserva indefinitamente. Un *cliché* galvanico può sopportare la tiratura di migliaia e migliaia di copie.

Così pure *per stampare i francobolli* si fanno parecchie copie galvaniche dell'incisione in legno dei medesimi, si dispongono sopra una tavoletta, e così si tira in una sola volta un foglio intiero di francobolli rigorosamente identici.

15. Argentatura, indoratura, nichelatura e metallurgia galvanica. — Similmente mediante l'elettrolisi si può fare depositare uno strato aderente d'argento, di oro, di nichel o altri metalli su di un oggetto ed il processo denominasi *galvanostegia*. Per esempio, l'argenteria e l'oreficeria *Christofle* (dal nome del primo fabbricante) è costituita da posate e vasellami di *argentana* o *pakfong* (zinco, rame e nichel), su cui si fa depositare uno strato di argento o di oro, attaccandoli all'elettrodo negativo in un bagno contenente una soluzione di un sale dei detti metalli, mentre all'elettrodo positivo è attaccata una lastra degli stessi metalli allo scopo di mantenere costante la soluzione.

Per l'argentatura si adopera una soluzione di un doppio cianuro di argento e potassio, e per l'indoratura un doppio cianuro di oro e potassio.

Oggidì è molto usata la nichelatura dell'ottone, ferro, ecc., che consiste nel far depositare uno strato di nichel sui detti metalli. Si mette nel bagno solfato o cloruro di nichel e di ammoniaca.

Infine l'elettrolisi ha oggidì molte ed importanti applicazioni nella metallurgia, in cui molti metalli, come l'oro, l'argento, l'alluminio, ecc., vengono separati dai loro minerali per via elettrolitica.

16. Accumulatori. — Gli accumulatori, detti anche *pile secondarie*, sono specie di pile fondate sul fenomeno della polarizzazione, e che servono come serbatoi di elettricità. Per intendere come essi funzionino si noti che se nella elettrolisi dell'acqua acidulata si impiegano come elettrodi delle lamine di piombo, l'anodo viene superficialmente trasformato in perossido di piombo (PbO_2) dall'ossigeno che ivi si svolge, il che si manifesta colla colorazione bruna che esso acquista; invece l'idrogeno nascente che si svolge sul polo negativo o catodo, riduce l'ossido, di cui le lastre di piombo sono ordinariamente coperte, in piombo metallico di struttura cristallina. Se poi si toglie l'elettromotore che ha servito per l'elettrolisi (per esempio, una pila di due Bunsen) e si chiude su sè stesso l'apparecchio che ha funzionato da voltametro, il circuito esterno viene percorso da una corrente che va dalla lamina di piombo positiva alla negativa, mentre la corrente dell'elettromotore aveva questa direzione nel voltametro stesso. Tale corrente inversa, che dura finchè dura lo straterello di perossido di piombo che si era formato, dicesi *secondaria;* il cangiamento che avviene negli elettrodi dal quale nasce questa corrente dicesi *polarizzazione galvanica*, e l'apparecchio *accumulatore elettrico*.

Se poi si danno all'accumulatore delle cariche alternativamente in senso inverso, avendo cura tra l'una e l'altra di scaricarlo, allora si *forma* l'accumulatore, ossia si aumenta lo spessore dello strato di perossido di una lamina, nel mentre l'altra si riduce allo stato di piombo molto suddiviso; in tal modo viene ad essere aumentata la *capacità* dell'apparecchio, ossia questo è reso atto ad accumulare maggior copia di energia elettrica.

Il primo accumulatore è dovuto a Planté, e consisteva in due lunghe lamine di piombo sovrapposte, isolate con strisce di guttaperca, ravvolte a cilindro, ed immerse nell'acqua acidulata; venne in seguito l'accumulatore del tipo Faure nel quale le lastre di piombo erano coperte da uno strato di minio (ossido di piombo) tenutovi aderente da un guscio di feltro; con questo tipo di accumulatore il processo di *formazione* è più rapido, ed anche qui all'anodo l'ossido per l'azione della carica si trasforma in perossido ed al catodo in piombo spugnoso metallico.

Oggidì poi, per avere le lastre rapidamente polarizzate e insieme per averle atte a maggiormente trattenere i depositi elettrolitici, si adoperano lastre di piombo la cui superficie ha delle incavature nelle quali vengono compressi sali di piombo, o minio ($Pb_3 O_4$), o polvere di piombo.

La forza elettromotrice degli accumulatori ora accennati è, in media, durante la scarica, di circa 2 *Volta*, e la resistenza interna (che varia da tipo a tipo) è sempre piccolissima, compresa all'incirca fra $^1/_{100}$ ed $^1/_{1000}$ di Ohm.

§ 78. Azioni reciproche fra le correnti elettriche e fra queste e le calamite.

1. Legge delle correnti parallele. – Fra i circuiti percorsi da correnti elettriche si manifestano fenomeni di attrazione e di repulsione, che diconsi *effetti dinamici*.

La fig. 229 rappresenta un rettangolo di filo di rame terminato in due punte, una superiore di acciaio che poggia nel fondo di una capsulina in cui si mette un poco di mercurio, e l'altra sottostante, che è solo di rame, non tocca il fondo della rispettiva capsulina, ma pesca solo nel mercurio che si mette pure nella medesima. Così il circuito è mobilissimo attorno alla verticale passante pel punto di appoggio della punta superiore. Le due capsuline sono sostenute da lastrine di ottone portate da colonne pure di ottone, munite inferiormente di viti di chiusura, mediante le quali si possono attaccare alle medesime due reofori. Così risulta un circuito rettangolare mobile, in uno dei cui fianchi

la corrente sarà verticale discendente, e verticale ascendente nell'altro, mentre nel lato inferiore la corrente sarà orizzontale.

Ora, se si fa passare una corrente elettrica nel detto circuito e si accosta all'uno o all'altro fianco, e parallelamente al medesimo, una porzione rettilinea di un reoforo, o meglio un fianco di un moltiplicatore (pag. 360) inserito nel circuito, si vede che il fianco del circuito mobile cui è avvicinato il circuito fisso

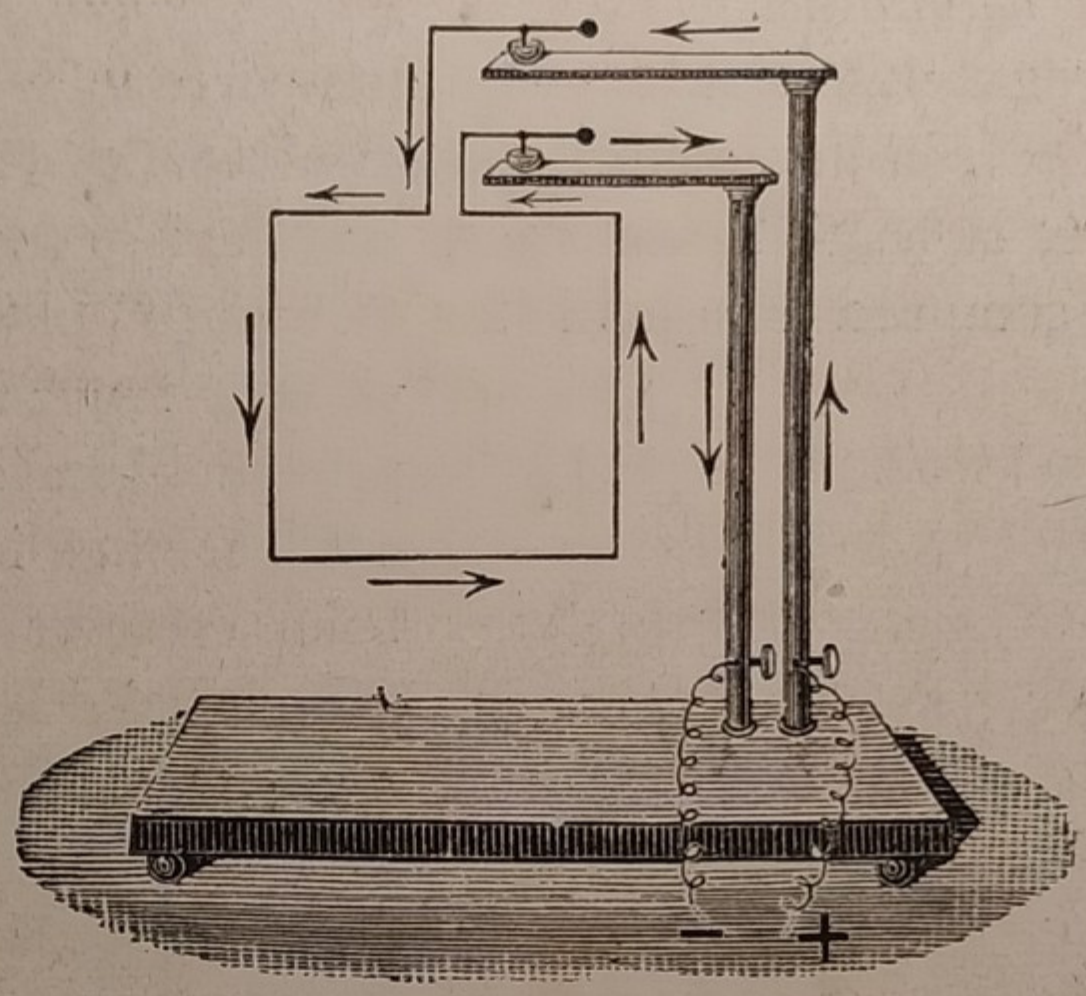


Fig. 229.

si avvicina o si allontana da questo secondochè le correnti che percorrono i due circuiti sono dirette nello stesso verso oppure in verso contrario.

Dalla precedente esperienza risulta la seguente legge: *Le correnti elettriche parallele si attraggono o si respingono secondochè sono dirette nello stesso verso od in verso contrario.*

2. Legge delle correnti angolari. — Se si colloca un filo o meglio un moltiplicatore sotto il lato orizzontale inferiore del circuito rettangolare mobile, in modo che la corrente fissa e quella mobile facciano quattro angoli, in due dei quali, opposti al vertice, le correnti hanno la stessa direzione rispetto al vertice, cioè ambedue son dirette verso di esso, od ambedue se ne allontanano, mentre negli altri due angoli, pure opposti al vertice fra loro, le correnti hanno direzione contraria rispetto al vertice, si vede che il circuito mobile gira per modo che i primi angoli divengono nulli e i secondi divengono piatti, cioè di 180°, e quindi la cor-

rente mobile orizzontale si dispone parallela alla corrente fissa e diretta nello stesso verso.

D'onde risulta la seguente legge: *Le correnti, le cui direzioni fanno un angolo, si attraggono se hanno la stessa direzione rispetto al vertice, cioè se ambedue vanno verso questo o ambedue se ne allontanano, e si respingono se hanno direzione contraria rispetto al vertice, cioè se una va verso questo e l'altra se ne allontana.*

3. Correnti incrociate. — Se due correnti sono disposte in croce (fig. 230), in due angoli opposti al vertice (1 e 3), vi sarà attrazione per le leggi delle correnti angolari (pag. 395) mentre negli angoli compresi fra quelli (2 e 4), e pure opposti al vertice, vi sarà repulsione; perciò i primi debbono diminuire fino a 0°, mentre i secondi debbono crescere fino a 180°. Quindi dalla legge delle correnti angolari risulta il seguente *corollario*: 1° *Le correnti incrociate tendono a disporsi parallele e dirette nello stesso verso.*

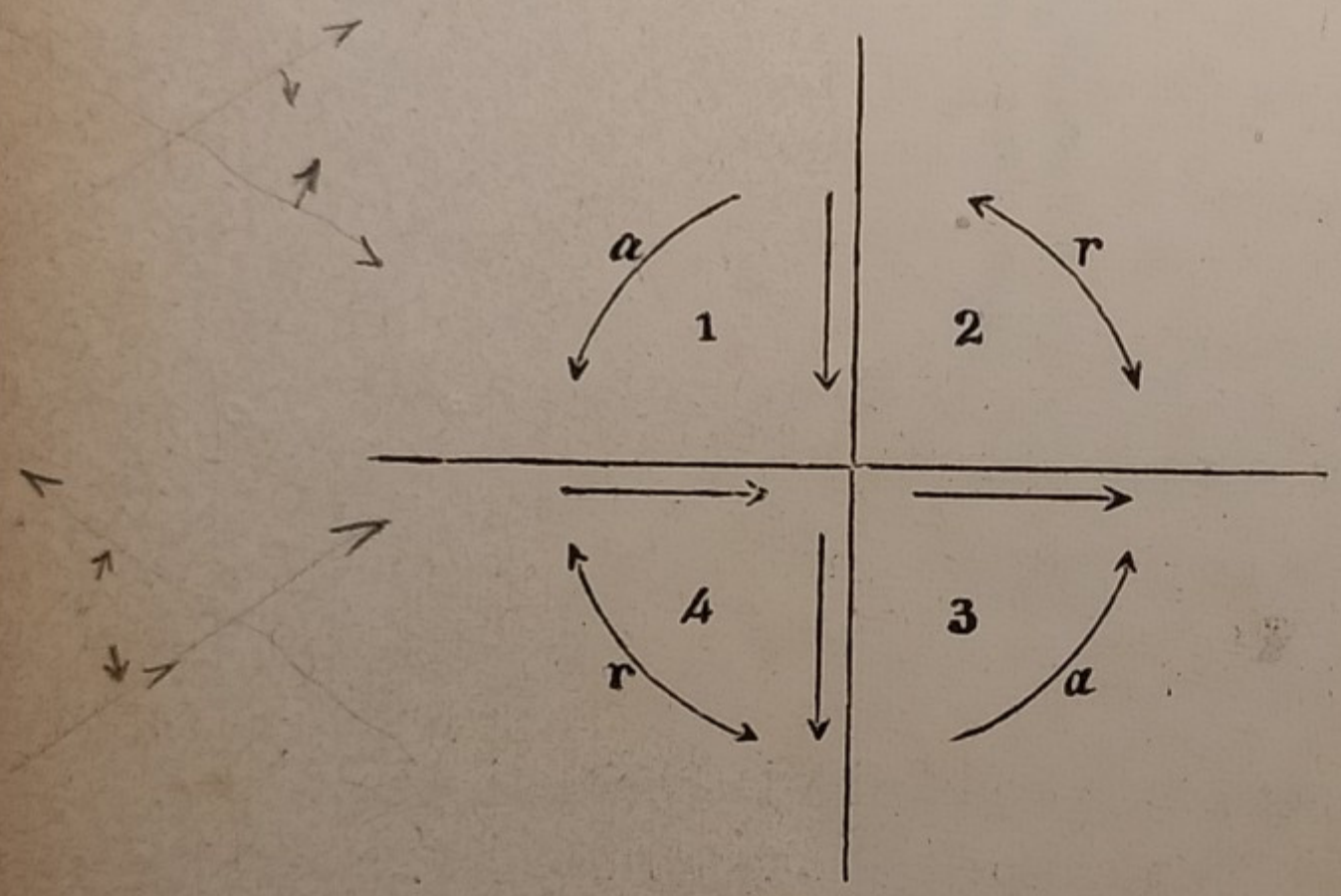


Fig. 230.

La *prova sperimentale* di questo corollario è già data dall'esperienza delle correnti angolari, nella quale si vede il rettangolo girare e disporsi nel modo indicato.

4. Azione direttrice della terra sulle correnti mobili, rettangolari o circolari. — Se si fa passare una corrente in un circuito mobile, rettangolare (come quello della fig. 229), o circolare, si verifica la seguente legge: *Una corrente mobile rettangolare o circolare si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, ed in modo che il lato ove la corrente è discendente sia ad est, e nel lato orizzontale la corrente sia diretta da est ad ovest.*

Quindi, per un osservatore che guarda il circuito rettangolare o circolare dal sud, la corrente va nel verso delle lancette dell'orologio, supposto questo collocato a lui di fronte, come il

circuito (*faccia sud*); all'opposto, se egli guarda il circuito dal nord, la corrente circola in verso contrario alle lancette dell'orologio posto a lui di fronte (*faccia nord*).

5. Batteria galleggiante di De la Rive. — Un altro modo di manifestare l'orientazione di un circuito mobile rettangolare o circolare è somministrato dalla *batteria galleggiante di De la Rive.* Consiste in una coppia elettromotrice costituita da due lastre, una (Z, fig. 231) di zinco, e l'altra (K) di rame, sospese in due fenditure praticate in un disco di sughero, e congiunte all'esterno mediante un filo di rame ricurvo circolarmente.

Posta la coppia elettromotrice a galleggiare nell'acqua acidula di un recipiente nasce una corrente diretta esternamente dal rame allo zinco e che

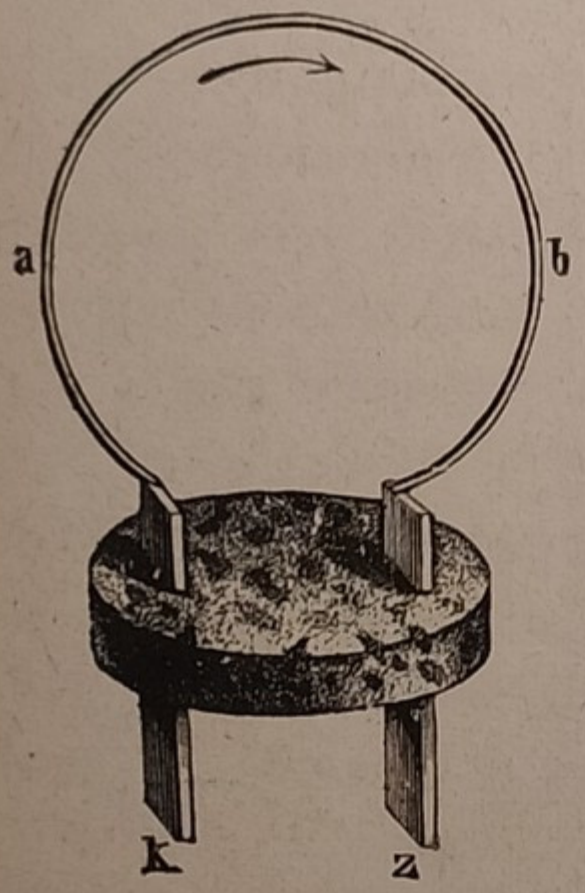


Fig. 231.

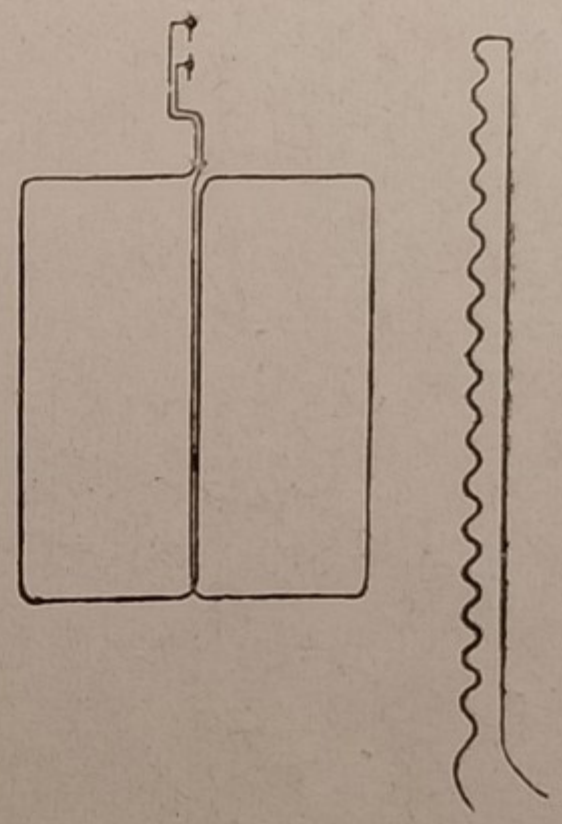


Fig. 232.

è abbastanza energica per essere diretta dalla terra nel modo precedentemente indicato. Perchè l'apparecchio funzioni meglio conviene che la lastra di rame abbia una superficie doppia di quella di zinco, e avvolga questa dalle due faccie.

Presentando poi, ad esempio, alla faccia sud della lamina il polo nord di una calamita, essa viene attratta, ed invece viene respinta dal polo sud della calamita.

Cosicchè una corrente piegata in circolo produce lo stesso campo magnetico che produrrebbe una *lamina magnetica semplice*, ossia uno strato sottile di grossezza uniforme costituito da tanti magneti elementari uguali ed uniformemente distribuiti coi loro assi normali alle due faccie della lamina, e così orientati che tutti i poli nord siano sopra una faccia ed i sud sopra l'altra.

6. Azione di una corrente sinuosa. — Se si fa passare una corrente per un circuito rettangolare mobile (fig. 232), e per un filo composto di due parti parallele, una rettilinea e l'altra

sinuosa, le quali vengono percorse dalla corrente in verso contrario, accostando questo circuito ad un lato verticale del circuito rettangolare mobile, in modo che la distanza dei due fili rettilineo e sinuoso da quello sia eguale, non vi è nè attrazione nè repulsione; ma se si allontana un poco la corrente rettilinea, o la sinuosa, del circuito mobile, tosto si manifesta l'attrazione o la repulsione, secondochè le correnti che agiscono hanno direzione eguale o contraria.

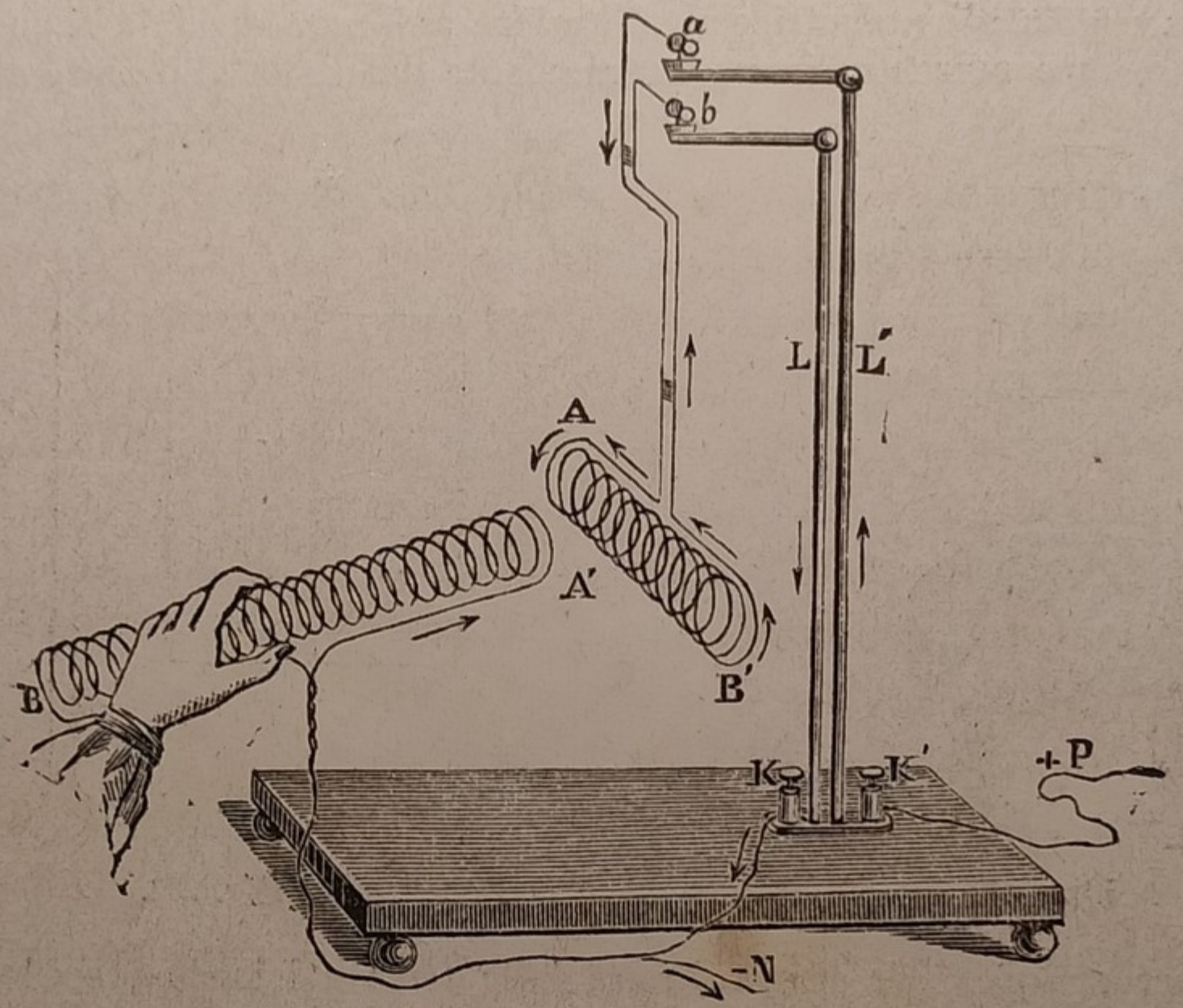


Fig. 233.

Quindi risulta la seguente *legge delle correnti sinuose: L'azione di una corrente sinuosa equivale a quella di una corrente rettilinea di eguale lunghezza in proiezione.*

7. Solenoide. — Chiamasi solenoide (dal greco *solen*, tubo) un filo metallico, ordinariamente di rame, avvolto a spire isolate (fig. 233); esso, quando è chiuso sul circuito di una pila, equivale evidentemente ad un sistema di correnti circolari parallele.

Ora, se si fa passare una corrente alquanto forte (di circa 6 coppie Bunsen) per un solenoide mobile, sospeso in modo che possa liberamente girare attorno alla verticale, si verifica la seguente legge: *Un solenoide mobile percorso da una corrente*

si rivolge in modo che il suo fianco in cui le correnti circolari elementari sono discendenti sia ad est; l'altro in cui le correnti circolari elementari sono ascendenti sia ad ovest; e nel lato inferiore le correnti siano dirette da est ad ovest.

Se si inverte la direzione della corrente nel solenoide, esso gira di 180°, per rivolgere i suoi fianchi sempre secondo la legge enunciata.

Questo fatto è manifestamente un effetto della orientazione di ciascuna delle correnti circolari del solenoide, come si è già notato per un circuito unico rettangolare o circolare (pag. 396).

Siccome ciascuna delle correnti circolari componenti il solenoide si dirige col suo piano perpendicolarmente all'ago magnetico, perciò l'asse del solenoide risulta parallelo all'ago magnetico, con una delle sue estremità rivolta al nord e l'altra al sud, precisamente come una calamita. Quindi si denomina anche polo *nord* di un solenoide l'estremità rivolta al nord, e polo *sud* quella rivolta al sud.

Al polo sud di un solenoide la corrente circola nel verso delle lancette dell'orologio, per una persona che si mette di fronte a quel polo; invece la corrente circola in verso contrario alle lancette dell'orologio per una persona che si pone di fronte al polo nord, come si è già osservato per un solo circuito rettangolare o circolare.

Dunque un solenoide mobile orizzontalmente si dispone come l'ago magnetico di declinazione. Ma se esso può anche muoversi verticalmente il polo nord si abbassa, e l'asse del solenoide si dispone parallelo all'ago di inclinazione. Quindi *un solenoide è diretto dalla terra precisamente come una calamita.*

8. Azioni reciproche dei solenoidi fra loro e fra questi e le calamite. — Se si fa passare una stessa corrente, o due correnti distinte, per due solenoidi, uno dei quali sia sospeso e liberamente girevole (come AB′ nella figura precedente) mentre l'altro (A′B) si tiene in mano, e poi si presentano successivamente i poli di questo ai poli dell'altro, si verifica la seguente legge identica a quella che esprime l'azione mutua fra i poli della calamita (pag. 326): *i poli dello stesso nome si respingono, e quelli di nome contrario si attraggono.*

Lo stesso si verifica fra calamite e solenoidi.

9. Ipotesi di Ampère. — I solenoidi hanno così grande analogia coi magneti che Ampère fu condotto all'ipotesi che: *i magneti non sono che solenoidi*, ossia che: *i magneti sono sistemi di correnti elettriche parallele, come i solenoidi.*

Ma siccome non si può ammettere che esistano correnti elettriche isolate fra loro alla sola superficie delle calamite, perchè, se così fosse, si dovrebbero le medesime manifestare sperimentalmente, e siccome inoltre un magnete si lascia dividere in una infinità di piccoli magneti, mentre un solenoide si può solo dividere in un'infinità di piccoli pezzi di filo, i quali non sono più solenoidi, ed infine un solenoide ha i suoi poli ai capi, mentre un magnete li ha a distanza più o meno grande da quelli, così queste differenze condussero Ampère a formulare la sua ipotesi nella seguente maniera:

1° *Attorno ad ogni molecola esiste una corrente elettrica che costituisce un solenoide molecolare.*

2° *Nel ferro non magnetizzato le correnti molecolari hanno tutte le direzioni possibili; quando, mediante l'azione della corrente elettrica, o di una calamita, queste correnti molecolari vengono orientate, cioè ridotte parallele e dirette nello stesso verso, risulta un magnete, il cui polo sud giace nell'estremità in cui le correnti hanno la direzione del movimento delle lancette dell'orologio, e il polo nord all'estremità opposta.*

Quindi, secondo Ampère, un magnete è un *fascio di solenoidi lineari* paralleli all'asse della spranga magnetica, il cui insieme equivale ad un solenoide unico, perchè, se si rappresentano le correnti molecolari dei due capi di una calamita, si scorge che nelle parti interne contigue le correnti hanno direzione contraria, perciò i loro effetti esterni si annullano, e rimangono solo le azioni delle parti esterne o superficiali di tali correnti molecolari, le quali, per essere vicinissime fra loro, producono lo stesso effetto di una corrente unica esistente alla superficie della spranga.

10. Azione magnetizzante della corrente elettrica. Elettrocalamite. — Il secondo effetto magnetico della corrente elettrica (il primo è l'azione direttrice sulle calamite, § 72) consiste nel generare potenti calamite quando percorre un filo metallico coperto di materia isolante e avvolto a più giri attorno ad una spranga di ferro dolce; il quale fenomeno è già stato esposto nello studio del magnetismo, perchè somministra il modo di ottenere le più potenti calamite.

La polarità magnetica che acquista la spranga è identica a quella del solenoide che la avvolge; cioè l'estremità ove la corrente va nel verso del movimento delle lancette dell'orologio diviene un polo sud e l'altro un polo nord. Si determina anche la polarità della spranga applicando la regola del nuotatore, cioè basta considerare una persona nuotante nella corrente e colla

faccia rivolta verso la spranga; il polo nord si trova alla sinistra di quella.

L'intensità magnetica che può acquistare una elettrocalamita dipende dalla purezza del nucleo di ferro dolce, dal modo con cui fu preparato, dalla sua forma e dimensioni, dalla intensità della corrente e dal numero dei giri del filo del rocchetto.

§ 79. Campanello, orologio e telegrafo elettrico.

1. — I campanelli elettrici sono apparecchi nei quali, mediante la corrente elettrica, si fa oscillare rapidamente un martello che battendo su una campana la fa suonare.

Premendo un bottone sotto il quale vi è una molla metallica che viene in comunicazione con due fili, si chiude il circuito di una corrente elettrica, la quale passa per il filo dell'elettrocalamita (EE′, fig. 234), d'onde esce e passa in una molla d'acciaio che regge l'àncora (A) di ferro dolce controstante ai poli della elettrocalamita e che porta il martello (M). Dalla molla la corrente passa nell'àncora stessa, e quindi in una lamina elastica (L) in contatto con quella, d'onde ritorna al polo — meno della pila. Così l'elettrocalamita magnetizzata dalla corrente attira l'àncora, e fa battere il martello sulla campanella. Ma per lo spostamento dell'ancora è interrotto il suo contatto colla lamina (L) e perciò la corrente viene interrotta; allora, cessando l'attrazione dell'elettrocalamita, l'àncora viene distaccata per effetto della molla che la porta, cosicchè essa viene nuovamente in contatto colla lamina (L), per cui è ristabilito il circuito della corrente elettrica e l'attrazione dell'elettrocalamita sull'àncora, e così di seguito, in guisa che il martello batte replicatamente sulla campana, per tutto il tempo che si tiene chiuso il circuito premendo il bottone.

2. Quadri pei campanelli elettrici. — Perchè una stessa soneria possa servire per diversi ambienti di un edifizio si usano dei quadri in cui si trovano disposte tante elettrocalamite colle rispettive ancore quanti sono i bottoni distribuiti nell'edifizio. Il filo che parte dal polo + della pila si divide in altrettanti rami, ciascuno dei quali passa per il relativo bottone e per l'elica della corrispondente elettrocalamita; indi codesti rami si riuniscono in un solo che passa per l'elica del campanello e ritorna al

polo — della pila. Premendo uno qualunque dei bottoni la corrente passa pel ramo corrispondente e fa suonare il campanello; nello stesso tempo si eccita la corrispondente elettrocalamita del quadro che attirando l'àncora fa scoprire un numero, il quale indica all'inserviente il luogo donde è partita la richiesta.

3. Orologi elettrici. — Gli orologi elettrici sono quadranti la cui lancetta viene messa in rotazione d'accordo con quella di un *orologio centrale* o *normale*. Consistono in una ruota con 60 denti, nei quali graffia un uncino di acciaio fisso ad un'àncora di un elettromagnete. in modo che la ruota

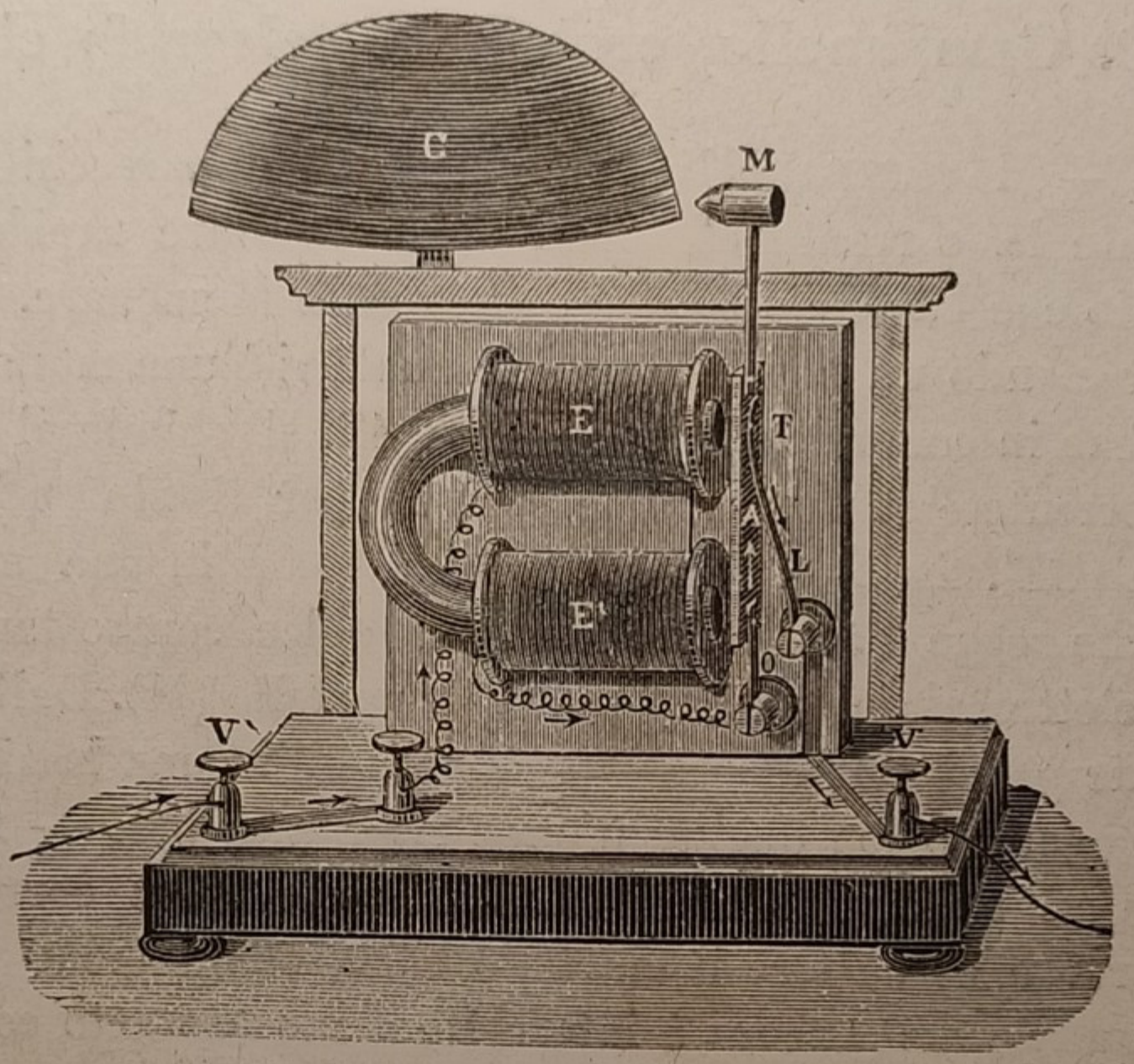


Fig. 234.

avanza di un dente ad ogni attrazione dell'àncora. L'elettromagnete è inserito nel circuito di una corrente elettrica che viene chiusa dall'orologio normale ad ogni minuto. Così la lancetta fissa all'asse della ruota ad ogni minuto avanza di $^1/_{60}$ della circonferenza del quadrante e percorre questo in un'ora.

Un'altra lancetta che ad ogni ora percorre solo $^1/_{12}$ del quadrante indica le ore.

4. — I telegrafi servono a trasmettere segni a distanza. Ve ne sono di molte forme; per brevità si dà solo qualche cenno intorno ai più usati, che sono il telegrafo di Morse, di Hugues, di Thomson e qualche altro.

Ogni sistema telegrafico consta di 4 parti principali, che sono: il *generatore della corrente*, il *filo di linea*, il *trasmettitore* e il *ricevitore*.

5. Generatori della corrente. — I generatori della corrente usati nei telegrafi sono: o pile del tipo Daniell, od accumulatori. Nella telegrafia militare, invece delle pile e degli accumulatori, si genera la corrente con macchine dinamo-elettriche perchè portano minori incagli nel trasporto e nella manutenzione. Queste macchine si vanno introducendo anche negli uffici telegrafici stabili, sovratutto in America, ove lo sviluppo della telegrafia è enorme e si cerca in ogni cosa la massima semplicità ed economia.

6. Filo di linea. — Le linee telegrafiche sono: *aeree*, *sotterranee* o *subacquee*.

Le linee aeree sono costituite di fili di ferro zincato, cioè ricoperti di uno strato superficiale di zinco, per impedirne l'ossidazione, appoggiati su isolatori di porcellana, sostenuti, o da braccia applicate agli edifizi, o da pali, e fatti in modo che l'acqua di pioggia non possa arrivare nei punti di contatto del filo colla porcellana. Si impiega il ferro anzichè il rame, quantunque il primo sia sette volte meno buon conduttore del secondo, perchè più economico e più tenace. Si compensa il difetto di conduttività con un maggior diametro (pag. 373) che varia da 3 a 5 *mm*.

Le linee sotterranee sono funicelle di più fili di rame rivestite di guttaperca per isolarli. Si collocano, quando è possibile, nella parte superiore dei canali sotterranei, e in difetto di questi, si collocano in tubi di piombo che si seppelliscono nel suolo.

Queste linee sono più costose delle aeree, ma più sicure; perciò si vanno sostituendo alle linee aeree in molti paesi. Così in Germania le principali città sono collegate con linee sotterranee. Queste poi si usano sopratutto per mettere in comunicazione fra loro le fortezze.

Le linee subacquee, o sottomarine, congiungono i continenti attraverso i mari, e constano di due parti principali, che sono l'*anima interna* e l'*armatura protettrice esterna*.

La prima è costituita da una o più funicelle di fili di rame (che si vedono in alto nella fig. 235), rivestite da guaine isolanti di guttaperca, alla loro volta rivestite da uno strato di tela di juta incatramata. Attorno all'anima sta l'armatura protettrice esterna, formata con grossi fili di ferro rivestiti di canapa incatramata e avvolti a lunga spirale attorno all'anima. Tale armatura ha per iscopo di proteggere quella e di dare alla gomèna

la resistenza necessaria per reggere alla trazione cui può essere esposta, sia nella posa, sia nel fondo dei mari, tra un'altura e l'altra su cui posa, lasciandole però la necessaria pieghevolezza.

7. — Il trasmettitore del telegrafo Morse, detto anche *tasto*, consiste in una leva di primo genere (*ab*, fig. 236), di ottone, che da una parte e dall'altra del fulcro (*m*) porta inferiormente una punta (*b* e *x*) che può venire in contatto con un bottone o colonnetta sottostante. Il bottone *x*, sottostante alla punta che si trova dalla parte del manubrio (B), comunica col filo (P) che va al polo + della pila locale, e quello sottostante alla punta (*b*), che si trova dalla parte opposta, comunica col filo (A) che va al ricevitore della stazione locale. Infine il fulcro (*m*) comunica col filo di linea (L).

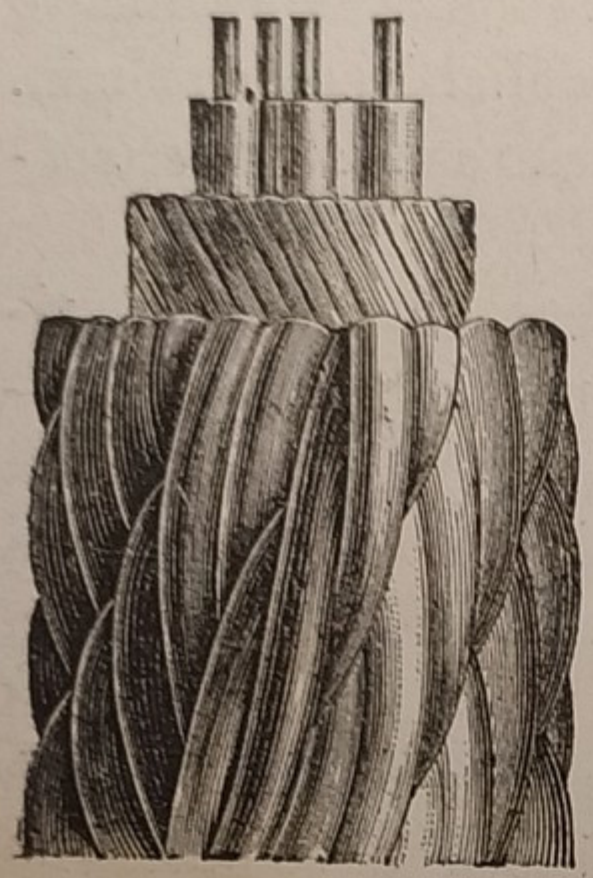


Fig. 235.

Quando non si telegrafa non vi è il contatto (in *x*) dalla parte del manubrio (B), essendo la leva sollevata da questa parte da una molla, ed invece vi è il contatto opposto (sotto *b*), per modo che se una corrente arriva da un'altra stazione pel filo di linea (L), può pel detto contatto (*b*), andare nel filo (A) che

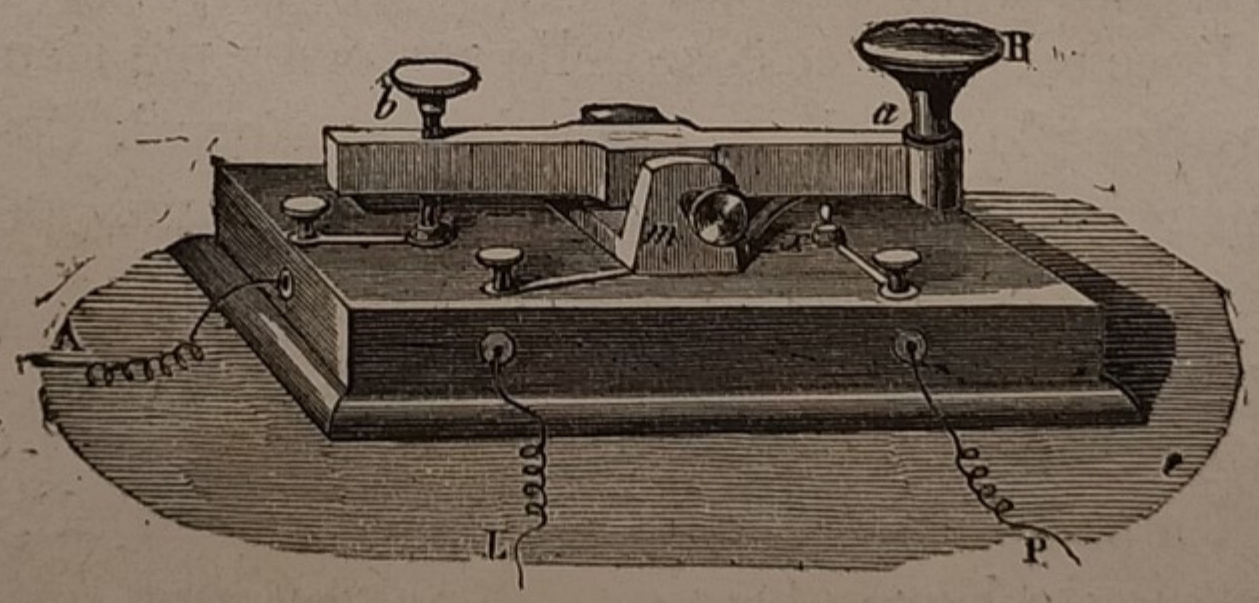


Fig. 236.

comunica col ricevitore locale. Quando invece si telegrafa si abbassa la leva dalla parte del manubrio (B), permodochè si stabilisce il contatto (*x*) da questa parte, mentre si interrompe quello (*b*) dall'altra, e allora la corrente che arriva dal filo (P) comunicante colla pila può (pel contatto *x*) andare al fulcro (P) e da questo nel filo di linea (L).

8. Ricevitore del telegrafo Morse. — Le sue parti principali sono: una *elettrocalamita* (E, fig. 237), uno dei capi del cui filo comunica col filo di linea e l'altro col suolo; indi una *leva di primo genere* (A *x o*), uno dei cui bracci porta un'àncora (A) di ferro dolce sovrastante ai poli dell'elettrocalamita, e l'altro braccio porta un prismetto di acciaio (*e*), con uno spigolo in alto, su cui posa un nastrino di carta che si svolge da un tamburo (R) attorno al cui asse è avvolto. Una *molla antagonista* spirale (*r*)

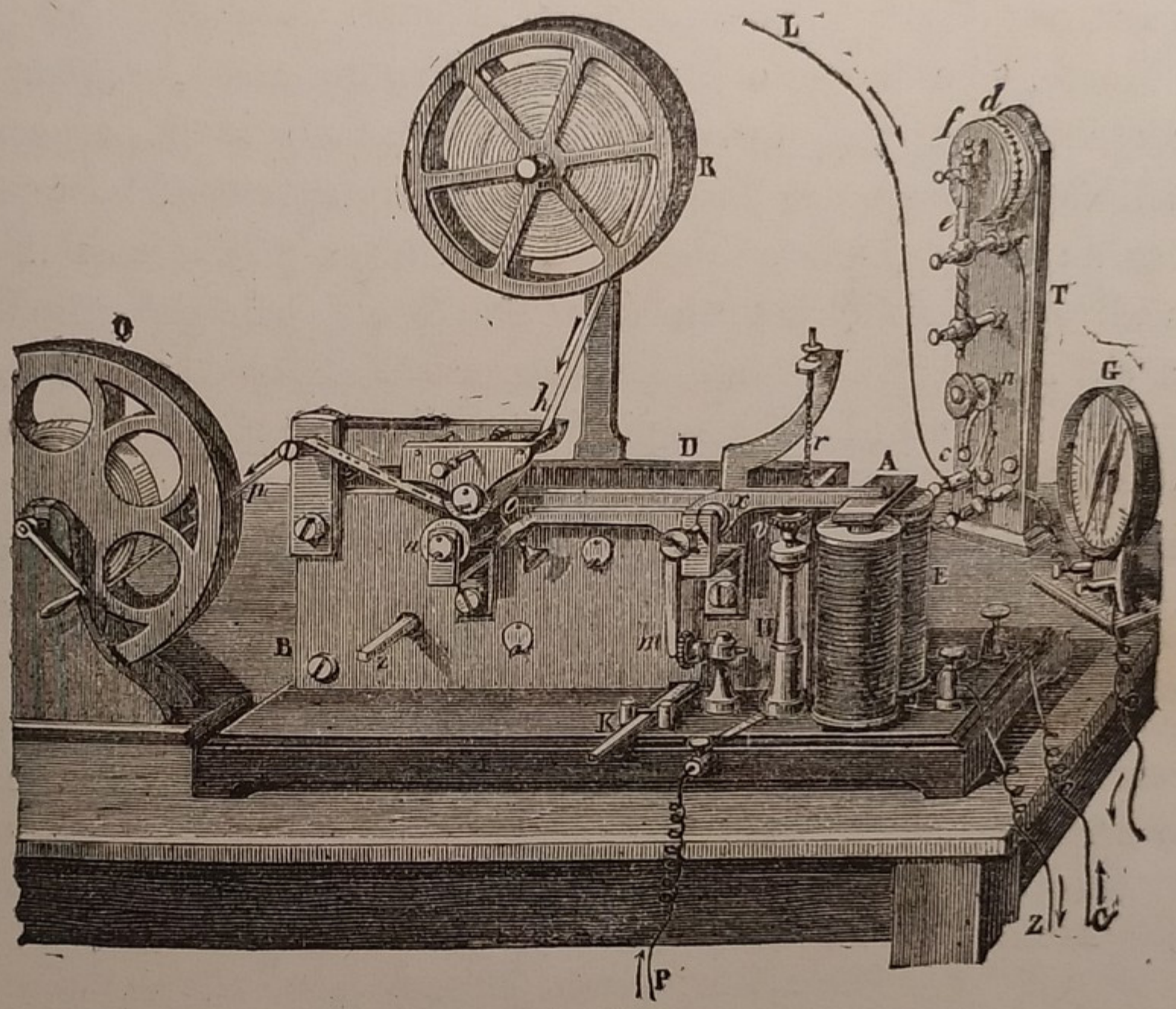


Fig. 237.

distacca l'àncora dall'elettrocalamita quando non passa la corrente nella medesima, e due viti (di cui si vede l'inferiore *v*) servono a regolare gli spostamenti, in modo che l'àncora non possa allontanarsi troppo dai poli dell'elettrocalamita per l'azione della molla quando non passa la corrente, e non venga in contatto coi poli della medesima quando la corrente passa nell'elettrocalamita, il che ne rende più facile l'allontanamento; infine un *movimento d'orologeria* (contenuto nella cassa parallelepipeda D B H), quando si riceve il dispaccio mette in rotazione un dischetto sottile di acciaio vicinissimo alla carta, il cui contorno è sempre bagnato d'inchiostro (perchè girando tocca leggiermente

un tamburo attorno al quale è avvolto un pezzo di panno bagnato d'inchiostro da stampa), e due cilindretti di metallo (*a*) a superficie scabra, i quali girando in senso contrario e stringendo leggermente il nastrino di carta che si svolge dal tamburo (R), lo fanno progredire. Il movimento d'orologeria si carica girando l'asse Z. Una piccola leva permette di mettere in azione il movimento di orologeria o di arrestarlo.

9. Funzione dell'apparecchio Morse. — Il trasmettitore e il ricevitore descritti costituiscono le parti essenziali del telegrafo Morse, che bastano per intendere come esso funziona. Se una corrente elettrica, che arriva da un'altra stazione, percorre il filo dell'elettromagnete, l'àncora (A) viene attratta, la leva si abbassa da questa parte e solleva dall'altra (O), e così il nastrino di carta viene portato in contatto coll'orlo del dischetto bagnato d'inchiostro. Cessando la corrente l'elettrocalamita cessa di attrarre l'àncora, la molla spirale (*r*) rimette la leva nella posizione primiera, e così la carta non è più in contatto col dischetto. Secondo la durata del passaggio della corrente varia la durata di quel contatto, cosicchè vengono segnati sulla carta linee o punti, mediante la cui combinazione si indicano le diverse lettere dell'alfabeto e le cifre, siccome mostra la seguente tabella. Il numero dei segni varia da 1 a 4 per ciascuna lettera ed è tanto minore quanto più questa occorre di frequente.

Lettere e cifre impiegate per la corrispondenza col telegrafo Morse.

a · —	l · — · ·	w · — —	1 · — — — —
b — · · ·	m — —	x — · · —	2 · · — — —
c — · — ·	n — ·	y — · — —	3 · · · — —
d — · ·	o — — —	z — — · ·	4 · · · · —
e ·	p · — — ·	, · — · — · —	5 · · · · ·
f · · — ·	q — — · —	; — · — · — ·	6 — · · · ·
g — —	r · — ·	: — — — · · ·	7 — — · · ·
h · · · ·	s · · ·	. · · · · · ·	8 — — — · ·
i · ·	t —	? · · — — · ·	9 — — — — ·
j · — — —	u · · —	! — — · · — · —	0 — — — — —
k — · —	v · · · —		

10. Segni acustici. — Gl'impiegati esercitati intendono i dispacci ad orecchio, pel piccolo rumore prodotto dai movimenti della leva.

Quando il telegrafista d'una stazione vuole telegrafare ad un'altra esso abbassa replicatamente il tasto del suo trasmettitore, e così fa muovere la leva del ricevitore della stazione ricevente secondo un segno convenzionale. Ivi il telegrafista risponde collo stesso segno, che è pronto a ricevere. E per segnalare la fine del dispaccio il telegrafista mittente fa traccciare nella stazione ricevente una serie di 20 a 30 punti successivi.

Il *sounder*, assai usato in Inghilterra e agli Stati Uniti, è appunto un ricevitore Morse nel quale è soppresso l'apparecchio scrivente, e la lettura viene fatta ad orecchio: esso è di una grandissima semplicità ed economia, essendovi soppressi il movimento di orologeria ed i tumburi e rulli per la carta.

11. Soccorritore (*relais*). — Quando la lunghezza delle linee è così grande che la corrente elettrica proveniente da una stazione mittente è troppo debole per far funzionare il ricevitore nella stazione ricevente, si usa il soccorritore, che è un'elettrocalamita la cui àncora è più facilmente attratta dall'elettrocalamita che quella del ricevitore.

L'àncora attratta dall'elettrocalamita chiude il circuito di una pila locale (nella stazione ricevente), e ne manda la corrente, più energica di quella che viene dalla stazione mittente, nel ricevitore; indi quella scostandosi per l'azione di una molla antagonista riapre il circuito della detta pila. In tal guisa l'àncora del soccorritore ripete i movimenti del tasto della stazione mittente e quella del ricevitore ripete alla sua volta quelli del soccorritore, il quale così raggiunge il suo scopo di sostituire la corrente della pila locale a quella troppo debole che arriva pel filo di linea.

12. Comunicazione fra due stazioni. — Abbassando il tasto della stazione di partenza si mette in comunicazione il polo positivo della pila locale (essendo il negativo in comunicazione col suolo) col fulcro del manipolatore e col filo di linea, il quale, quando riposa il tasto della stazione di arrivo, comunica col ricevitore di questa e per mezzo del ricevitore colla terra. Così la corrente passa dal polo positivo di potenziale più elevato della stazione mittente al punto di contatto col suolo di potenziale più basso della stazione ricevente. Analogamente si effettua la trasmissione dalla seconda alla prima stazione. Così il ricevitore di ciascuna agisce per effetto della corrente trasmessa dalla pila dell'altra.

13. Parti accessorie del telegrafo Morse. — A completare il telegrafo Morse concorrono tre parti accessorie, che sono: il *parafulmine*, il *commutatore* e la *bussola*.

Il *parafulmine* ha per scopo di proteggere il telegrafista dalle scariche elettriche che possono dare gli apparecchi telegrafici quando acquistano forti cariche elettriche per l'induzione delle nubi temporalesche elettrizzate. Esso consiste in due lastre metalliche parallele, ciascuna delle quali è munita di punte che si avvicinano all'altra senza toccarla. Una di queste lastre è in comunicazione col filo di linea, e l'altra col suolo.

Quando i fili e gli apparecchi sono carichi di elettricità indotta dalle nubi elettrizzate questa si disperde silenziosamente per le punte della lastra comunicante col filo di linea, mentre l'elettricità contraria sviluppata per induzione nell'altra lastra comunicante col suolo si disperde pure per le punte della rispettiva lastra e neutralizza quella del filo di linea. Se la carica elettrica è assai grande possono al più succedere scariche fra le punte della lastra comunicante col filo di linea e la lastra comunicante col suolo, anzichè fra gli apparecchi e le persone vicine.

Il *commutatore* serve a stabilire le comunicazioni fra gli apparecchi di una stazione e i fili di diverse linee, secondo le occorrenze. Esso consta di un prisma di legno nel quale sono incastrate superiormente due o più lastre di ottone parallele, cui si possono fissare a vite dei fili di comunicazione, e inferiormente altrettante lastre perpendicolari alle prime, ed isolate da queste mediante il legno. Le lastre superiori sono munite di fori in corrispondenza dei loro punti d'incrociamento colle inferiori, pei quali si possono introdurre spilloni metallici, in modo da mettere in comunicazione una qualunque delle lastre superiori con una qualunque delle inferiori, e così stabilire comunicazione tra i fili ad esse attaccati.

La *bussola* consiste in un moltiplicatore il quale colle deviazioni dell'ago magnetico indica il passaggio delle correnti che partono e che arrivano negli apparecchi.

14. Pregi del telegrafo Morse. — Il telegrafo Morse è assai pregevole per la semplicità del suo meccanismo e della manovra della trasmissione, che s'impara facilmente; perciò esso è oggidì il più usato. Col medesimo si possono spedire in un'ora 500 parole di 5 lettere in media. Inoltre è il più economico.

15. Telegrafo stampante di Hugues. — In questo telegrafo, mediante la corrente elettrica, si stampano direttamente le lettere dell'alfabeto e gli altri segni sul nastrino di carta nelle due stazioni, mittente e ricevente.

Il trasmettitore è costituito da una tastiera somigliante a quella di un pianoforte (fig. 238), con 28 tasti, 14 bianchi e 14 neri. I 14 tasti neri portano le lettere da A ad N, 12 tasti bianchi portano le rimanenti lettere da O a Z, uno un punto e un altro nessun segno. Di più ogni tasto oltre alle lettere porta: o una cifra (da 0 a 9), e un segno di punteggiatura, o un segno algebrico (+, —, ×, ecc.).

Il ricevitore sovrastante alla tavola della tastiera è assai complicato, ma la sua parte principale consiste in una ruota dentata (quella distinta con lettera T nella fig. 238, collocata nel centro del ricevitore) detta la *ruota dei tipi*, i cui denti portano, parimente in rilievo, le lettere dell'alfabeto e gli altri segni corrispondenti a quelli della tastiera. Questa ruota (rappresentata a parte nella fig. 239), ha i suoi denti continuamente bagnati di inchiostro azzurro da stampa da un tamburo attorno al quale è avvolta una striscia di panno bagnata con quell'inchiostro, e in contatto colla quale vengono i detti denti nella rotazione della ruota.

Ora, se il telegrafista della stazione mittente preme col dito, ad es., il tasto portante la lettera T, la ruota dei tipi nel ricevitore delle due sta-

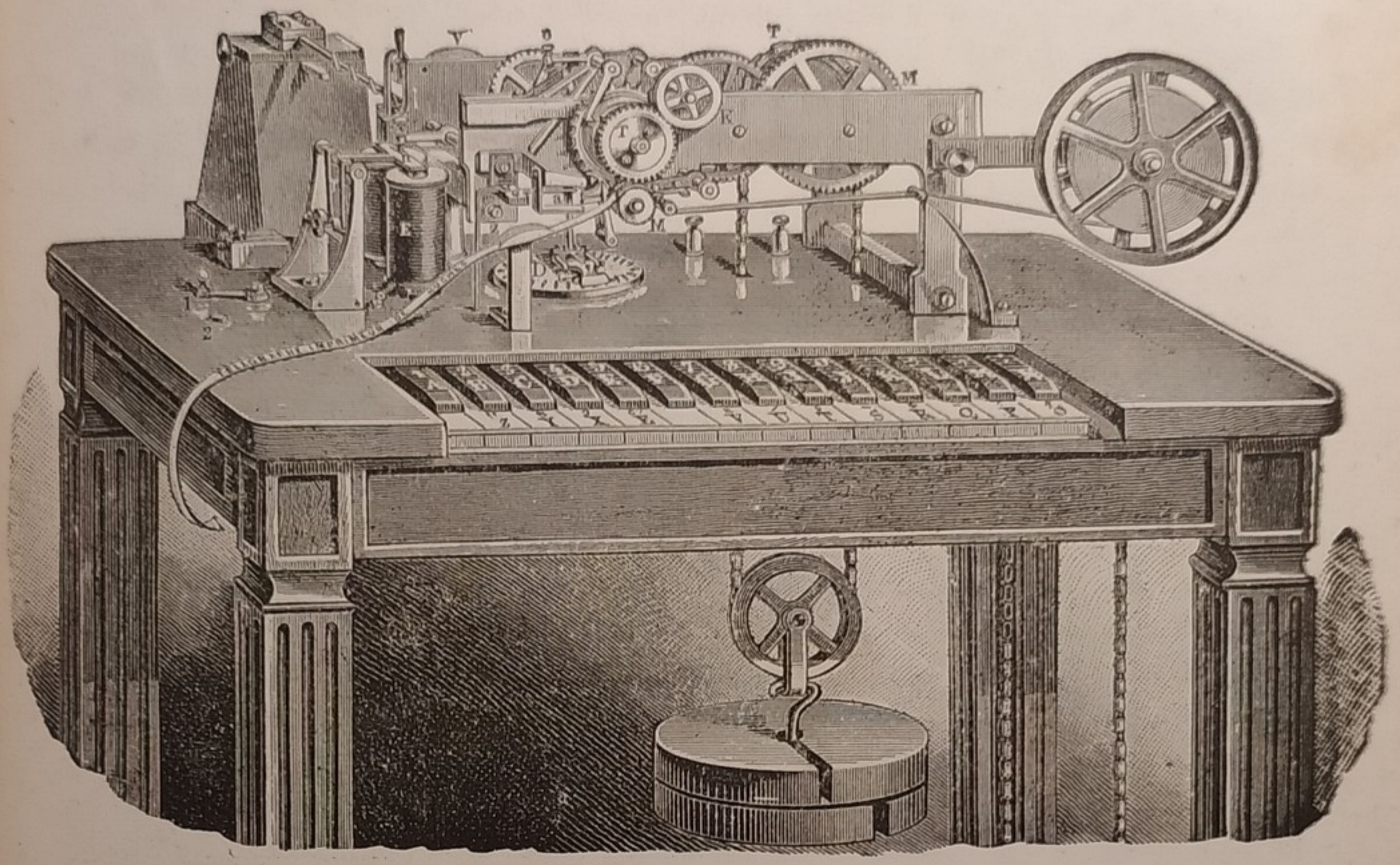


Fig. 238.

zioni, mittente e ricevente, gira finchè si trovi in basso il dente portante la detta lettera, e tosto viene sollevato contro il medesimo il nastrino di carta, cosicchè quella lettera viene stampata nelle due stazioni, il che dà il mezzo di controllare sempre il dispaccio spedito.

Il nastrino di carta contenente il dispaccio stampato viene poi portato direttamente al destinatario, aderente ad un foglio.

Il telegrafo Hugues, assai più complicato e costoso di quello Morse, ha su questo parecchi vantaggi, fra i quali i due principali sono di stampare le lettere in caratteri ordinarii, e una maggior rapidità nella trasmissione dei dispacci.

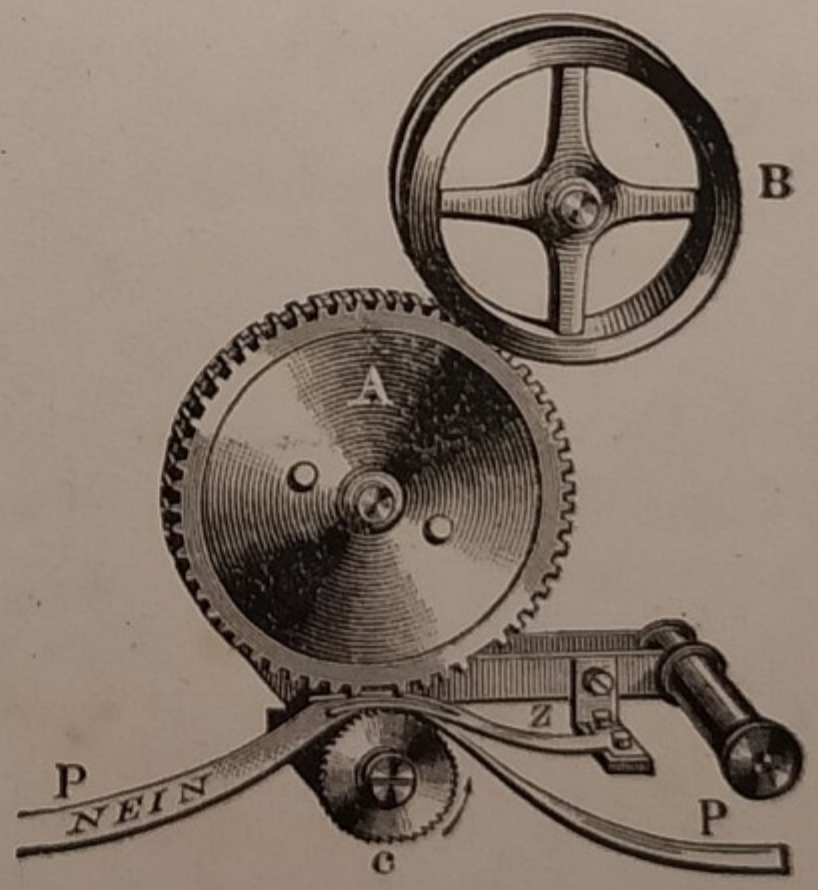


Fig. 239.

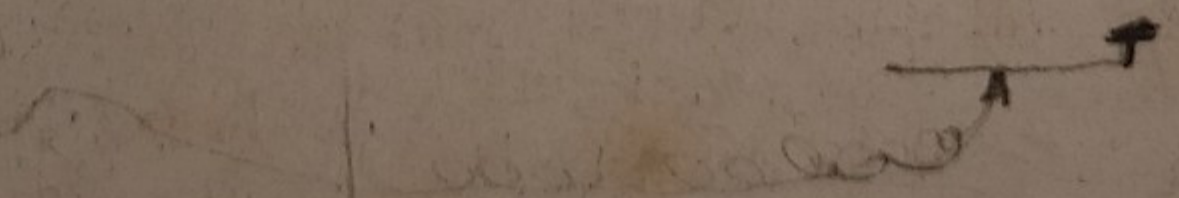
16. Telegrafo marino. — Le funi sottomarine, per la loro forma particolare di due masse metalliche, una interna (fili di rame), l'altra esterna (fili di acciaio), separate da uno strato di materia isolante, possono essere

paragonate ad un condensatore (pag. 307) a grande capacità e la lentezza con cui, pei fenomeni di condensazione elettrica, la corrente si trasmette ha reso necessario l'adozione di un apparecchio ricevitore speciale.

Dapprima si dovette limitarsi a produrre piccole deviazioni di un ago astatico, le quali venivano rese più visibili mediante un piccolo specchio attaccato all'ago, il quale, deviando con questo, rifletteva un piccolo fascio luminoso, proveniente da una lampada, da una parte o dall'altra del fascio incidente su una scala più o meno lontana, il che costituisce il *galvanometro a specchio* di Thomson (pag. 364).

Le deviazioni del fascio riflesso a destra o sinistra del fascio incidente, prodotte da correnti positive o negative, corrispondevano ai punti e linee del telegrafo Morse.

Oggidì si ottengono anche nei telegrafi marini segnali ad inchiostro mediante il *ricevitore a sifone* (*siphon recorder*) di W. Thomson (Lord Kelvin). Consiste in un sifone capillare di vetro il cui ramo corto pesca in un calamaio contenente inchiostro azzurro di anilina, e il ramo lungo affilato è a piccola distanza da una striscia di carta che scorre al disotto per un movimento di orologeria. L'inchiostro viene spinto fuori dalla punta del sifone per una carica elettrica che si comunica al medesimo nel calamaio, e finchè l'ago sta fermo lascia traccia sulla linea mediana della carta. Ma quando l'ago, a cui è unito il sifoncino, devia a destra o a sinistra, l'inchiostro spruzza a destra o a sinistra della linea medesima, e così si indicano i punti e le linee del sistema Morse.



§ 80. Correnti di induzione.

1. Induzione mediante avvicinamento ed allontanamento di una corrente elettrica di un circuito. — Nella fig. 240 sono disegnati due rocchetti, uno superiore di minore diametro a filo grosso, e l'altro inferiore di maggior diametro a filo lungo e sottile.

Ora, se si mette questo rocchetto a filo lungo e sottile in comunicazione con un galvanometro e il rocchetto superiore a

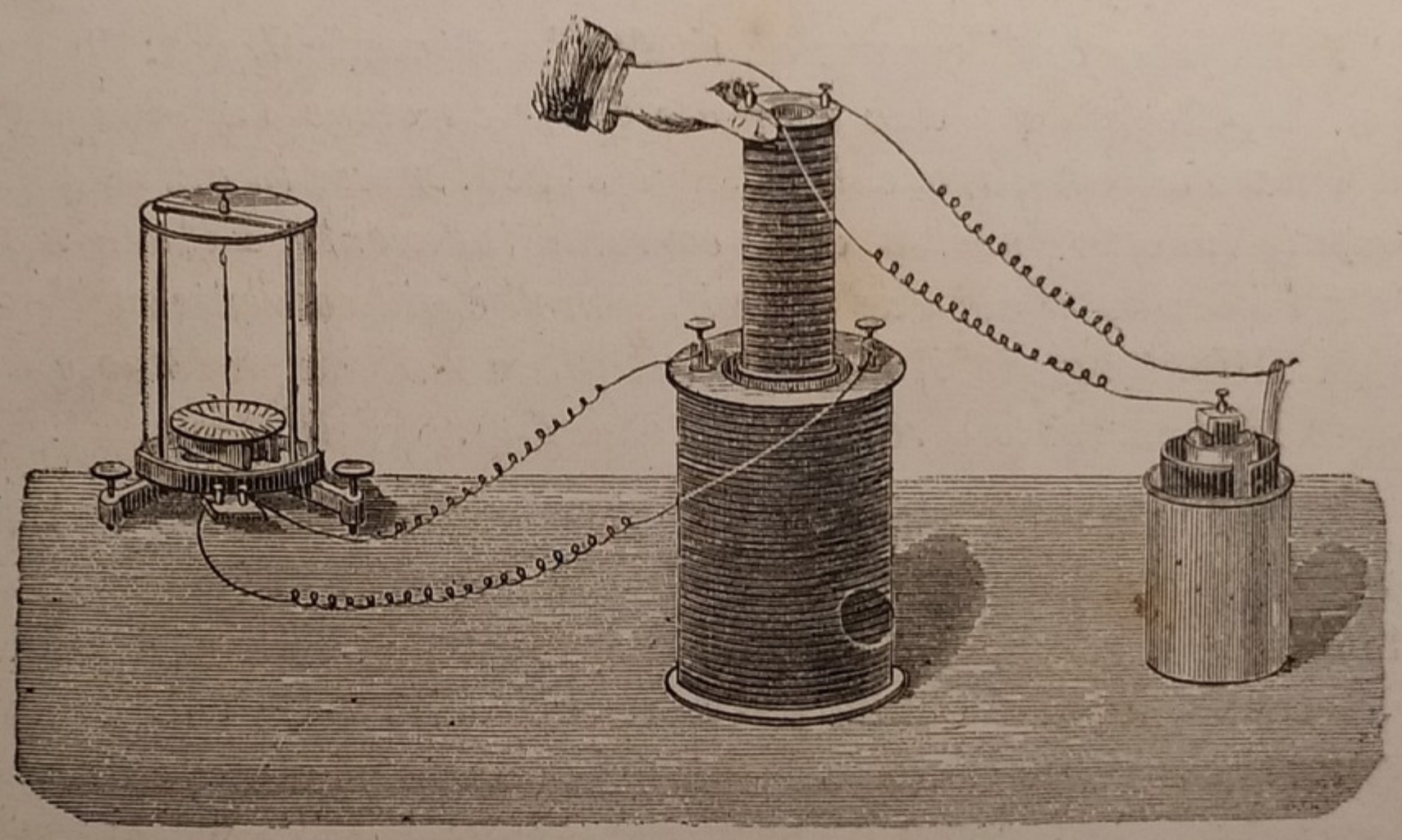


Fig. 240.

filo grosso e corto in comunicazione con una pila di 3 o più coppie Bunsen, poscia, disposti i due rocchetti verticalmente l'uno sopra l'altro, si spinge, il più rapidamente possibile, il rocchetto minore nel maggiore, si vede l'ago del galvanometro deviare indicando nel rocchetto esterno una corrente inversa a quella che percorre il rocchetto interno. Quindi l'ago ritorna allo zero, il che prova che la corrente cessa quando la distanza dei due circuiti è costante. Infine, sollevando rapidamente il rocchetto interno si vede l'ago del galvanometro deviare nuovamente, ma in verso contrario del precedente, il che dimostra che coll'allontanamento del circuito interno nasce nell'esterno una corrente diretta nello stesso verso di quella che percorre il primo circuito.

Queste correnti così generate in un circuito chiuso per l'avvicinamento od allontanamento di un altro circuito percorso da una corrente elettrica (scoperte da Faraday nel 1831) si dicono *correnti d'induzione*. La corrente che genera l'induzione si dice *inducente*, o *primaria*, e il circuito percorso dalla medesima chiamasi *induttore* o *primario;* la corrente generata dall'inducente denominasi *indotta* o *secondaria*, e il circuito in cui essa nasce dicesi *indotto* o *secondario*. Infine il fenomeno denominasi *induzione voltaica*.

È principalmente alle correnti indotte che sono dovuti i grandi progressi moderni nelle applicazioni elettriche.

Dalle precedenti esperienze risulta la seguente *legge: Se un circuito percorso da una corrente elettrica viene rapidamente avvicinato ad un altro, chiuso su sè stesso, nasce in questo una corrente indotta inversa alla corrente inducente. Finchè non varia la distanza dei due circuiti non vi è più corrente nell'indotto. Allontanando il circuito induttore dall'indotto nasce in questo una corrente diretta nello stesso verso dell'inducente.*

2. Induzione prodotta da una corrente elettrica il cui circuito viene chiuso od aperto. — Se invece di avvicinare od allontanare il rocchetto induttore dall'indotto si colloca il primo nel secondo, e poi si chiude e si apre il circuito della corrente in quello, si osservano le stesse deviazioni dell'ago, cioè alla chiusura nasce nel rocchetto indotto una corrente inversa all'inducente, poi l'ago ritorna allo zero finchè la corrente passa con intensità costante nel rocchetto induttore, e all'apertura della corrente nasce nell'indotto una corrente diretta nello stesso verso di quella del rocchetto induttore.

L'effetto della chiusura in questo caso equivale a quello dell'avvicinamento istantaneo del rocchetto induttore all'indotto, e inversamente per l'apertura.

Quindi risulta la seguente *legge: Una corrente che si stabilisce in un circuito vicino ad un altro genera in questo una corrente indotta inversa alla corrente inducente; finchè questa rimane costante non vi è più corrente indotta; quando la corrente inducente cessa nasce nel circuito indotto una corrente diretta nello stesso verso dell'inducente.*

Le dette correnti di induzione nascono in un circuito qualunque che viene avvicinato od allontanato da un altro percorso da una corrente elettrica; naturalmente la disposizione dei due circuiti a spirale è la più favorevole, perchè permette l'avvicinamento ed allontanamento di una massima lunghezza dei due circuiti.

3. Induzione prodotta dalle variazioni d'intensità della corrente inducente. — *Se si fa crescere o diminuire l'intensità della corrente inducente, nel* 1° *caso si ottiene l'effetto dell'aggiunta di una nuova corrente, cioè una corrente indotta inversa, e nel* 2° *si ottiene l'effetto della sottrazione d'una parte della corrente inducente, cioè una corrente indotta diretta.*

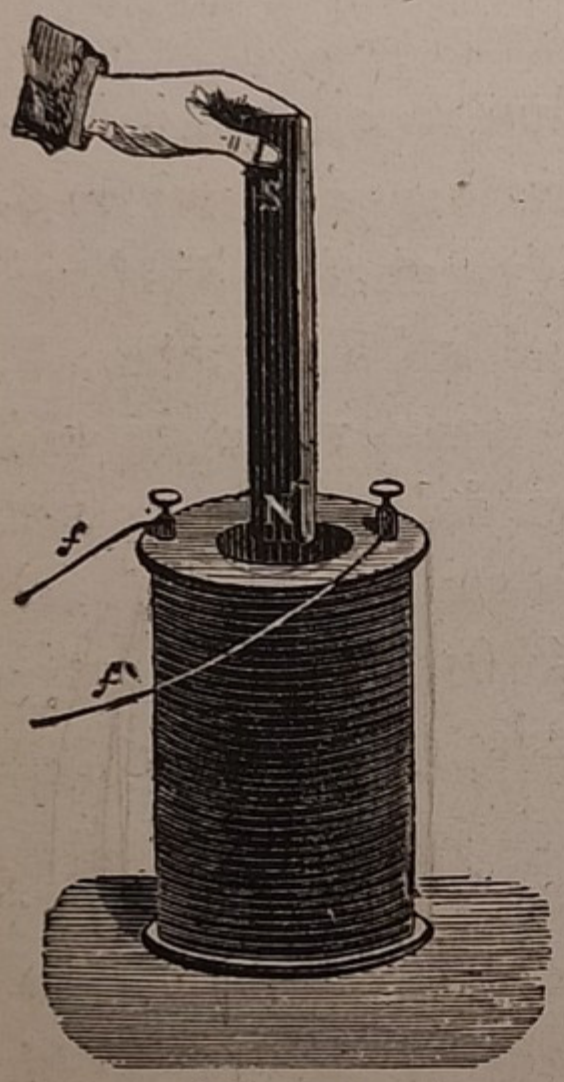


Fig. 241.

4. Induzione mediante una calamita che si avvicina o si allontana da un circuito. — Siccome una calamita equivale ad un solenoide o rocchetto percorso da una corrente elettrica (pag. 398), così se si introduce o si leva rapidamente una calamita rettilinea dal rocchetto esterno comunicante col galvanometro (fig. 241), l'ago di questo manifesta all'avvicinamento una corrente inversa a quella che si suppone nella calamita nell'ipotesi di Ampère, e diretta nello stesso verso quando si allontana la calamita. Anzi, se il magnetismo della calamita è alquanto energico, le correnti d'induzione che esso fa nascere sono più intense, e quindi fanno deviare l'ago del galvanometro più di quelle prodotte dall'induzione voltaica. E come per queste la corrente indotta dal magnete è tanto più intensa quanto più rapido è l'avvicinamento od allontanamento.

Quindi risulta la seguente *legge: Se si avvicina una calamita ad un circuito conduttore chiuso nasce in questo una corrente contraria a quella che si suppone nella calamita, secondo l'ipotesi di Ampère. Finchè non varia la distanza della calamita dal circuito indotto non vi è più corrente in questo. Quando si allontana la calamita dal circuito indotto*

nasce in esso una corrente diretta nello stesso verso della corrente della calamita, secondo l'ipotesi ampèriana.

L'induzione di correnti elettriche mediante le calamite si denomina *magnetoelettrica.*

5. Induzione mediante il magnetismo nascente o cessante. — Se si colloca una spranga di ferro dolce nell'interno di un rocchetto comunicante col galvanometro, e poi si accosta ad un'estremità della spranga un potente polo magnetico, allora la spranga, magnetizzandosi per induzione (pag. 328), genera nel rocchetto che la circonda una corrente indotta inversa della propria, come nell'esperienza precedente. Inversamente avviene coll'allontanamento della spranga magnetizzante.

Lo stesso risultato si ottiene ponendo i due rocchetti, induttore e indotto, l'uno nell'altro, e poi introducendo nel rocchetto interno percorso dalla corrente una verghetta di ferro dolce, mentre il rocchetto esterno comunica col galvanometro.

Allora si vede che l'ago è deviato nello stesso verso in cui deviava per l'avvicinamento, o per la chiusura della corrente nel rocchetto interno, perchè il ferro acquista la stessa polarità del rocchetto o solenoide che lo avvolge (pag. 400). Indi l'ago ritorna allo zero, ed infine devia in verso contrario quando si toglie il ferro dal rocchetto.

Donde risulta la seguente *legge: Se si sviluppa il magnetismo in una spranga di ferro dolce collocata nell'interno di un circuito chiuso nasce in questo una corrente indotta inversa di quella che si deve supporre, secondo l'ipotesi d'Ampère, nella spranga che diviene magnetizzata. Finchè non varia il magnetismo della spranga non vi è più corrente nel circuito indotto. Quando cessa il magnetismo nasce nel circuito indotto una corrente diretta nello stesso verso della corrente della calamita il cui magnetismo svanisce.*

Quindi, *le correnti di induzione voltaica divengono assai più energiche quando nel rocchetto induttore trovasi una spranga, ovvero un fascio di fili di ferro dolce che, magnetizzandosi e smagnetizzandosi repentinamente e colla stessa polarità, aggiunge il suo effetto a quello della corrente inducente.*

6. Induzione per le variazioni di intensità del magnetismo. — Se si colloca nell'interno del rocchetto indotto una

calamita, e poi si avvicina al polo sud di questa il polo nord di un'altra calamita che aumenta il magnetismo della prima, l'ago del galvanometro manifesta una corrente per magnetismo nascente, ed inversamente quando si allontana il detto polo. Lo stesso avviene, ma meno intensamente, accostando al polo della calamita del rocchetto un pezzo di ferro dolce.

Succede il contrario quando si accosta al polo sud della calamita, collocata nel rocchetto indotto, il polo sud di un'altra calamita, che diminuisce il magnetismo della prima, perchè sviluppa in essa polarità contraria. Quindi risulta anche la seguente proposizione: *nascono anche correnti indotte inverse e dirette quando si fa crescere o diminuire l'intensità del magnetismo inducente.*

7. Legge generale dell'induzione elettrica e magnetica o legge di Lenz. — Si è veduto (pag. 411) che quando si avvicina un circuito percorso da una corrente elettrica ad un altro isolato dal primo nasce in questo una corrente indotta *inversa*. Ora, siccome le correnti parallele e contrarie si respingono (pagina 394), consegue che la corrente indotta si oppone al movimento che la produce.

Parimente, quando si allontana il primo circuito dal secondo, nasce in questo una corrente indotta *diretta*. Ora, siccome due correnti parallele e dirette nello stesso verso si attraggono, consegue che anche la corrente indotta in questo caso si oppone al movimento che la produce.

Lo stesso avviene nell'avvicinamento ed allontanamento di un magnete da un circuito.

Quindi risulta la seguente *legge*, detta di *Lenz*: *Quando si muove un circuito percorso da una corrente elettrica, o una calamita, in vicinanza di un conduttore chiuso, nasce in questo una corrente che si oppone al movimento che la produce.*

Questa legge abbraccia tutti i casi di induzione, perchè anche l'induzione prodotta da una corrente, o da un magnete che nasce o sparisce, che aumenta o diminuisce di intensità, si riduce a quella di una corrente, o di un magnete, che si avvicina o si allontana.

8. L'induzione e le linee di forza magnetica. — Nei diversi casi di induzione magnetoelettrica precedentemente considerati si ha sempre un

campo magnetico (pag. 333) prodotto da un magnete o da un solenoide, e varia la posizione del circuito indotto in questo campo in modo che varia il numero delle linee di forza magnetica passanti pel detto circuito, permodochè tutti i casi di induzione esposti si possono comprendere nel seguente enunciato: *le correnti di induzione nascono in un circuito quando varia il numero delle linee di forza magnetica passanti pel medesimo, e la durata di queste correnti è eguale a quella della variazione.*

9. Quantità di elettricità nelle correnti di induzione. — Mettendo un voltametro a nitrato di argento in circuito col rocchetto indotto ed interrompendo replicatamente la corrente nel rocchetto inducente, si verifica che le lastre di argento non mutano peso, il che prova che le azioni chimiche delle correnti dirette ed inverse si compensano.

Ora, siccome le azioni elettrolitiche sono proporzionali alle quantità di elettricità che passano nell'elettrolito (pag. 390) si conclude che: *la quantità di elettricità delle due correnti indotte, inversa e diretta, è la stessa.*

10. Forza elettromotrice delle correnti di induzione voltaica. — La teoria dimostra e l'esperienza conferma che: *la forza elettromotrice* che nasce ai due capi del circuito indotto *è proporzionale*: 1° *alla intensità della corrente primaria o inducente;* 2° *al numero dei giri della spirale indotta;* 3° *alla rapidità della variazione della corrente inducente*, cioè alla rapidità con cui questa viene avvicinata od allontanata, chiusa od aperta, accresciuta o diminuita.

Perciò, *per ottenere grande forza elettromotrice nel circuito indotto deve:* 1° *La corrente inducente o primaria essere intensa;* 2° *deve venire il più rapidamente possibile chiusa e aperta;* 3° *il circuito indotto deve avere un gran numero di giri.*

11. Autoinduzione ed extracorrente. — Se ai poli di una pila, di almeno 3 coppie Bunsen, si attaccano 2 reofori, uno dei quali sia lungo parecchi metri (da 5 a 10), e poi si fa pescare uno di essi stabilmente nel mercurio di un bicchiere, mentre l'altro che si tiene in mano viene alternativamente immerso ed estratto dal mercurio, in modo da chiudere ed aprire alternativamente il circuito mediante questo liquido, ad ogni interruzione del circuito si osserva una scintilla che scocca fra il mercurio stesso e il reoforo che viene sollevato. Questa scintilla è assai piccola, se il reoforo lungo è disteso, ma diviene più viva se viene avvolto a spirale attorno ad un tubo di legno, o di cartone, o di vetro, oppure se il detto reoforo è in parte costituito dal filo di un rocchetto.

Più viva ancora diviene la scintilla che scocca ad ogni interruzione del circuito se nella spirale si introduce una verga di ferro dolce.

Il detto fenomeno si attribuisce a ciò che ogni corrente elettrica, quando viene chiusa o aperta in un circuito, inducendo correnti inverse e dirette in un circuito vicino, produce tale effetto nel suo stesso circuito, massime se questo è avvolto a spira, nel qual modo le diverse parti del medesimo sono fra loro più vicine.

Perciò, quando una corrente comincia a percorrere le prime spire di un circuito avvolto a spira, fa nascere per induzione nelle spire vicine successive una corrente di direzione contraria la quale indebolisce la corrente stessa per cui essa non acquista subito il valore determinato dalla forza elettromotrice della pila e dalla resistenza del circuito, secondo la legge di Ohm, ma lo acquista solo poco per volta, rimanendo in principio più debole, ed invece al momento dell'interruzione la corrente cessante nelle prime spire induce nelle vicine delle correnti dirette nello stesso verso che la rinforzano, per cui la sua intensità non diviene subito nulla, ma anzi dapprima cresce.

Perciò ad ogni rottura di un circuito percorso da una corrente elettrica, sovratutto quando esso è avvolto a spira, nasce ai due capi dell'interruzione un dislivello elettrico maggiore di quello esistente ai due poli della pila che somministra la corrente, il che dà lungo ad una scintilla nell'intervallo che separa i due capi del circuito che vengono allontanati. Invece alla chiusura la corrente indotta nel circuito stesso essendo contraria alla corrente inducente la indebolisce. Perciò alla chiusura del circuito di una pila non si osserva mai la scintilla, eccettuato il caso di una grandissima forza elettromotrice.

Se nel circuito avvolto a spira vi è una verga di ferro dolce le scintille sono ancora più vive, perchè all'induzione elettrica si aggiunge l'induzione magnetoelettrica che agisce nello stesso verso di quella, e aumenta così l'intensità delle correnti indotte nel circuito della corrente.

Le correnti di induzione generate da una corrente nel suo stesso circuito vennero da Faraday denominate *estracorrenti*. Il fenomeno viene oggidì, con parola più espressiva, detto *autoinduzione*, che significa *induzione su sè stesso*.

12. Effetti dell'autoinduzione sulle correnti indotte. — L'autoinduzione che avviene nel circuito induttore o primario influisce notevolmente

sulla durata delle correnti indotte che nascono nei circuiti indotti o secondarii ad ogni chiusura ed apertura della corrente inducente e precisamente *la corrente indotta alla chiusura dura più di quella d'apertura.* E siccome la quantità di elettricità delle due correnti è eguale (n° 9), ne risulta che *la corrente indotta all'apertura riesce più intensa che la corrente indotta alla chiusura.*

13. Forza elettromotrice d'induzione. — La durata brevissima delle correnti indotte all'apertura e chiusura del circuito primario fa sì che la forza elettromotrice d'induzione sia grandissima e paragonabile a quella delle macchine elettrostatiche. Perciò ai due capi del filo di un rocchetto indotto nascono differenze di potenziale così elevate da dar luogo a lunghe scintille mentre la forza elettromotrice della pila inserita nel circuito primario non darebbe luogo alla benchè minima scintilla.

Infine, siccome la forza elettromotrice di apertura è maggiore di quella di chiusura, così la distanza esplosiva corrispondente alla corrente indotta di apertura è maggiore di quella di chiusura.

14. Rocchetto di induzione. — Il *rocchetto di induzione di Ruhmkorff*, dal nome del primo costruttore, è un apparecchio mediante il quale si ottengono energiche correnti di induzione. Ne sono rappresentati due modelli nelle fig. 242 e 243.

In esso si possono distinguere *tre parti essenziali* e *due accessorie.*

Le parti essenziali sono: il *rocchetto induttore interno*, il *rocchetto indotto esterno* e l'*interruttore.*

Le parti accessorie sono: il *commutatore* e il *condensatore.*

Il *rocchetto induttore interno* o *circuito primario*, nel quale passa la corrente inducente, consiste in un filo relativamente corto e grosso (1 a 3 *mm.*), isolato ed avvolto in pochi strati attorno ad un cilindro cavo di legno, o di vetro o di ebanite, nell'interno del quale vi è un fascio o nucleo di fili di ferro dolce. (Nella figura 242 si vedono in H H′ i due capi del filo di questo rocchetto, i quali comunicano colle viti I I′, a cui si attaccano i reofori di una pila che somministra la corrente inducente. Uno dei capi del nucleo di ferro dolce è visibile in P nella fig. 243 e in F nella fig. 242).

La lunghezza del filo di questo rocchetto varia secondo le dimensioni degli apparecchi, ma in generale esso è corto e grosso relativamente al filo del rocchetto esterno, affinchè presenti poca resistenza al passaggio della corrente inducente (pag. 373).

Il *rocchetto indotto esterno*, o *circuito secondario*, è costituito da un filo sottile ($^1/_{10}$ a $^1/_5$ di *mm.* di diametro) e lunghis-

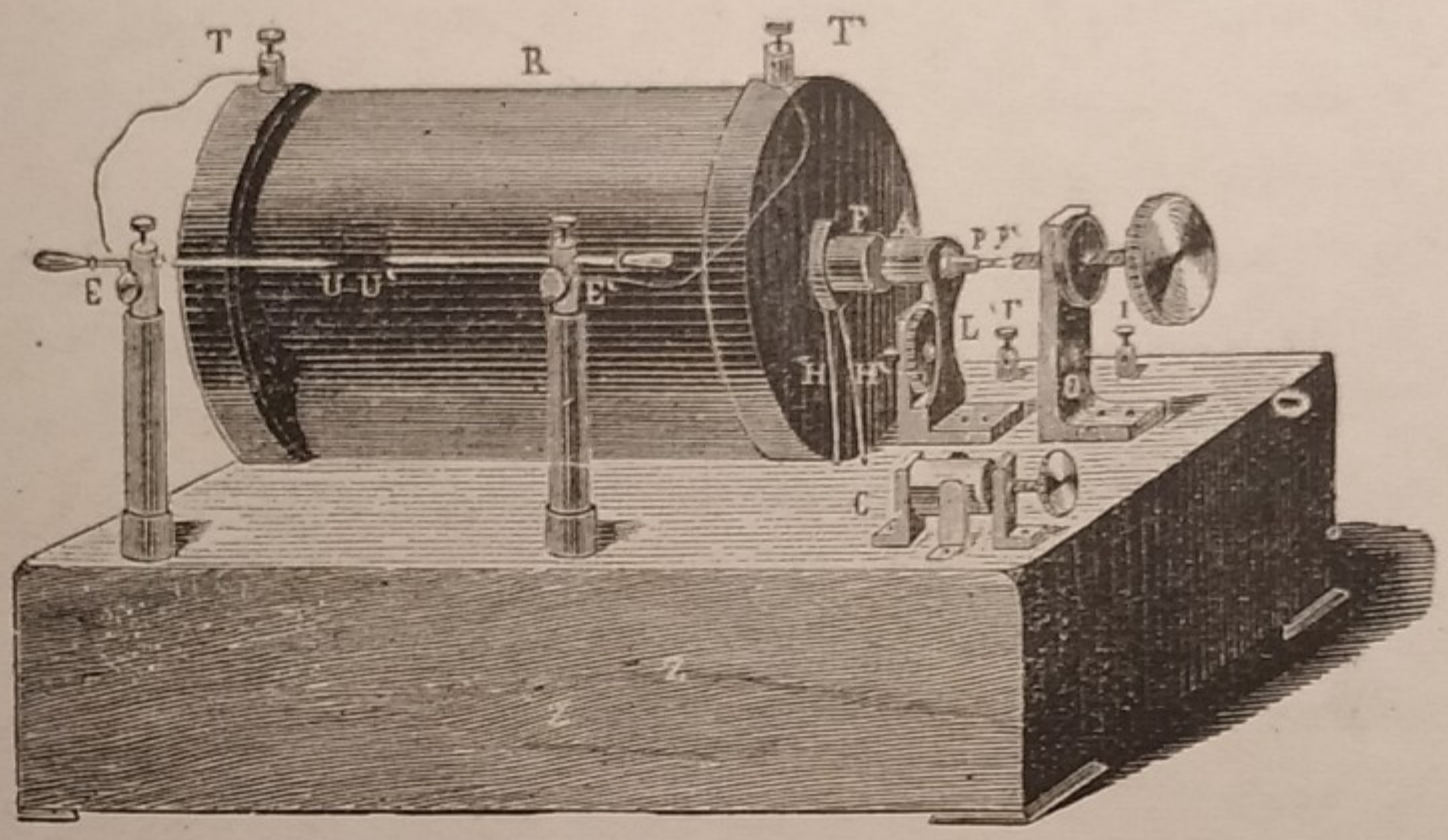


Fig. 242.

simo relativamente all'altro, ben isolato ed avvolto attorno ad un cilindro cavo di vetro o di ebanite che circonda il rocchetto induttore, sul quale forma molti strati, ancora isolati l'uno dal-

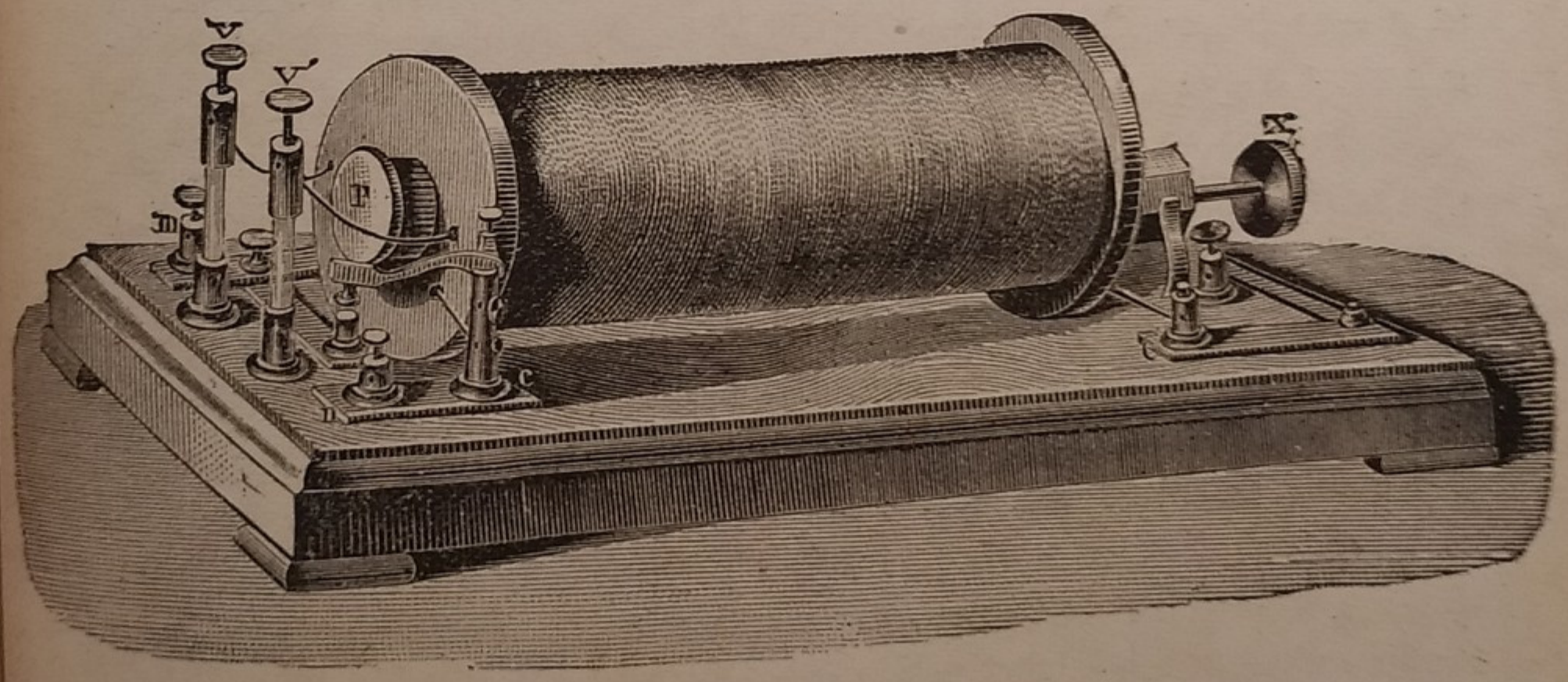


Fig. 243.

l'altro mediante carta imbevuta di gomma lacca. (Questo filo si vede nella figura 243; invece nel modello della figura 242 il *rocchetto esterno* è ricoperto da una lamina di ebanite). I suoi capi arrivano a due viti isolate su colonne di vetro v v', fig. 243) o di ebanite (EE', fig. 242), che sostengono verghette metalliche

od elettrodi (E U, E′ U′) muniti di manubrii isolanti (di avorio o di ebanite), ovvero reofori per far passare le scariche o nell'aria o in altri mezzi.

L'*interruttore della corrente* interrompe e ristabilisce la corrente inducente nel filo del rocchetto interno, d'onde nascono correnti indotte nel filo del rocchetto esterno (n° 2).

Vi sono diverse forme di interruttori: quella generalmente usata per piccoli rocchetti è l'interruttore *a martello.* (Questo è al disotto di P nella figura 243, mentre nella figura 242 è indicato dalle lettere L A). Consiste in una lamina metallica pieghevole (L, fig. 242), fissa ad un capo e libera all'altro, ove porta da una parte un pezzo di ferro dolce, od *àncora* (A), controstante ad un capo del nucleo di ferro dolce (F) che si trova nell'interno del rocchetto induttore, ed in altro punto, detta lastrina porta un pezzo o cilindretto di platino (P) detto il *martello*, che prima del passaggio della corrente inducente sta in contatto con un altro cilindretto di platino (P′) denominato l'*incudine*, in modo che la corrente può passare dall'uno all'altro e per le lamine metalliche che li portano.

Quando la corrente viene stabilita nel rocchetto induttore, attaccando i reofori a due viti di chiusura (nel modello della figura 242 queste viti sono indicate dalle lettere I I′), essa percorre il filo del rocchetto induttore, la lamina oscillante (L) del martello e passa tra i due pezzi di platino (P P′) dapprima a contatto. Allora il nucleo di ferro dolce (F) si magnetizza, attrae l'àncora (A) che gli sta di fronte, cosicchè la lamina oscillante che porta quella si avvicina alquanto al polo magnetico, e così viene interrotto il contatto dei due pezzi di platino, e il passaggio della corrente. Per tale interruzione cessa la magnetizzazione del fascio e la sua attrazione sul ferro dolce della lamina elastica, cosicchè questa ritorna nella posizione primiera, nella quale, essendo ristabilito il contatto dei due pezzi di platino, è ristabilito il passaggio della corrente. Quindi per la successiva magnetizzazione del fascio essa viene nuovamente interrotta, e così di seguito. Perciò la lamina oscillante vibra rapidamente.

Ad ogni chiusura della corrente nel filo del rocchetto induttore interno nasce una corrente inversa all'inducente nel rocchetto esterno, la quale è prodotta sia dalla corrente inducente,

sia dal magnetismo che essa sviluppa nel nucleo centrale di ferro dolce, le quali due induzioni si sommano (n° 5, pag. 414). E ad ogni apertura della corrente inducente nel rocchetto interno nasce nell'altro una corrente indotta diretta nello stesso verso dell'inducente, sia perchè questa svanisce, sia perchè svanisce pure il magnetismo del nucleo, le quali due induzioni si sommano pure. Questi rapidissimi movimenti della elettricità nel filo del rocchetto indotto dànno luogo a grandi dislivelli elettrici ai due capi del medesimo, ossia a forti tensioni elettriche positive e negative ai detti capi, per cui mentre il dislivello elettrico ai due poli della pila che somministra la corrente inducente è così piccolo da non provocare fra di essi nemmeno una scintilla di $^1/_{100}$ di millimetro, invece fra i due capi del filo del rocchetto indotto possono scoccare scintille lunghe parecchi centimetri e perfino parecchi decimetri. Il gigantesco rocchetto dell'inglese Spottiswoode, lungo *m.* 1,22 e col diametro di *m.* 0,508, con 30 grandi coppie Bunsen dà scintille lunghe 1 metro e 8 *cm.*

La quantità di elettricità circolante nelle correnti indotte alla chiusura e all'apertura della corrente inducente è uguale, ma per l'autoinduzione la rapidità della circolazione e quindi il dislivello elettrico ai due capi del circuito indotto è maggiore all'apertura che alla chiusura, e perciò le scintille di apertura sono più energiche di quelle di chiusura, permodochè se la distanza dei due capi del filo indotto oltrepassa un certo limite scoccano nell'intervallo solo le scintille dovute all'apertura e non quelle dovute alla chiusura della corrente inducente; allora il rocchetto ha i due poli, ossia una delle estremità del filo indotto è sempre positiva e l'altra negativa.

Di più, la differenza di livello elettrico che le correnti indotte determinano ai due capi del filo del rocchetto cresce col numero delle spire del rocchetto indotto; perciò questo è formato con un filo lungo e sottile per poter moltiplicare le spire senza che si allontanino troppo dal circuito induttore. E siccome l'intensità delle correnti indotte, cioè la quantità della elettricità in movimento al secondo che la costituisce, è proporzionale a quella della corrente inducente, perciò il circuito induttore è a filo relativamente corto e grosso, il quale diminuisce meno l'intensità della corrente inducente.

Il rocchetto d'induzione è dunque un apparecchio mediante il quale la piccola differenza di potenziale elettrico esistente ai due poli di una pila determina interrottamente grandi differenze di potenziale elettrico ai due capi di un circuito.

15. Parti accessorie del rocchetto d'induzione. — Negli apparecchi più completi alle tre parti essenziali descritte si aggiungono le seguenti due parti accessorie.

Il *commutatore*, che serve a stabilire, od interrompere, od invertire la corrente nel filo del rocchetto induttore interno, ed il *condensatore*, costituito da più fogli di stagnola alternati con fogli di carta paraffinata, che si trova nello zoccolo di legno dell'apparecchio. Esso ha per iscopo di diminuire la scintilla che avviene per l'extracorrente fra le due punte di platino ad ogni apertura della corrente inducente, la quale scintilla produce due azioni nocive, perchè dapprima ritarda l'interruzione della corrente inducente e quindi l'intensità della corrente indotta, e poi consuma le superfici fra cui avviene. Invece ad ogni apertura della corrente inducente gran parte dell'elettricità che si scaricherebbe attraverso l'interruzione, con scintilla si porta sulle armature del condensatore con cui comunicano i due capi dell'interruzione, e poi alla richiusura del circuito il condensatore si scarica mediante il circuito primario dando luogo in questo ad una corrente contraria a quella della pila, che accelera la smagnetizzazione del nucleo di ferro dolce.

16. Interruttore a mercurio. — Nei grandi rocchetti, malgrado il condensatore, la scintilla di apertura tra i due pezzi di platino è ancora abbastanza grande per consumare rapidamente quel metallo e nuocere alla rapidità delle interruzioni; perciò in essi si usa l'*interruttore a mercurio* di Foucault.

Questo è costituito da una punta di platino che oscillando rapidamente chiude ed apre il circuito immergendosi e sollevandosi dal mercurio contenuto in una vaschetta, ricoperto da uno strato di alcool.

17. Interruttore elettrolitico di Wehnelt. — Per certi usi del rocchetto d'induzione invece dei descritti interruttori a martello e a mercurio conviene l'interruttore elettrolitico del prof. Wehnelt (1897). Nella sua forma più semplice è costituito da una vaschetta contenente acqua acidulata con acido solforico nella quale sono immersi due elettrodi uno dei quali, cioè il *catodo*, è una lastra di piombo alquanto grande, e l'*anodo* consiste in un filo di platino alquanto grosso, contenuto in un tubetto di vetro e saldato ad un capo di questo, da cui sporge di qualche millimetro per affacciarsi al catodo rimanendone distante parecchi centimetri.

Se i detti elettrodi si mettono in comunicazione coi due poli di una corrente continua dovuta ad una differenza di potenziale di circa 100 volta (come sarebbe quella data da una cinquantina di accumulatori) compare una specie di guaina luminosa intorno all'anodo di platino la quale è accompagnata da un rumore caratteristico prodotto da una successione di

piccole esplosioni; intanto il circuito è interrotto periodicamente dall'inviluppo gazoso che si forma attorno all'anodo, ed il numero delle interruzioni è assai elevato (da 1500 a 2000 al secondo).

Questo interruttore posto nel circuito della corrente che alimenta il primario di un rocchetto di Ruhmkorff funziona quindi da interruttore di grande frequenza e permette ancora di sopprimere il condensatore.

Il suo uso è particolarmente conveniente negli esperimenti sulle scariche dei rocchetti nei tubi a gas rarefatto per ottenere i raggi X e le radiografie. (pag. 426).

18. Carica di una batteria col rocchetto. — Per caricare una batteria col rocchetto di induzione si mette uno dei capi del filo del rocchetto indotto in comunicazione coll'armatura esterna della batteria, e l'altro capo in comunicazione coll'armatura interna mediante lo scaricatore universale, lasciando però le due verghette di questo ad una distanza di alcuni centimetri, al fine di escludere le correnti indotte nella chiusura. Senza questa interruzione ad ogni oscillazione dell'interruttore arriverebbero su ciascuna armatura quantità eguali e contrarie di elettricità, e la batteria non si caricherebbe.

§ 81. Scariche elettriche nei gas rarefatti e raggi di Röntgen.

1. Effetti luminosi delle scariche elettriche del rocchetto di induzione. — Si ottengono potenti e fragorose scintille nell'aria libera fra due punte metalliche comunicanti coi capi del filo indotto di un rocchetto d'induzione e collocate a opportuna distanza. Esse manifestano la massima intensità quando la scarica avviene nell'aria tra una punta comunicante coll'estremità + del filo indotto e un disco di metallo comunicante colla estremità —.

Se si collegano con fili conduttori le viti a cui arrivano i capi del filo indotto colle armature opposte di una bottiglia di Leida o altro condensatore, le scintille divengono più rade, ma più bianche e clamorose.

2. Uovo elettrico. — Gli effetti luminosi più interessanti delle scariche del rocchetto d'induzione sono quelli che risultano quando si fa passare la scarica a traverso i gas rarefatti come nell'uovo elettrico e nei *tubi di Geissler*, poichè la conduttività dei gas per la scarica elettrica cresce colla rarefazione fino ad un certo limite.

Il così detto *uovo elettrico* è un globo di vetro, nel quale penetrano due verghette metalliche (fig. 244), terminate da due sferine che si possono più o meno avvicinare; il globo è munito di un piede tubulare con chiavetta, mediante il quale si rarefa l'aria del medesimo finchè la pressione sia ridotta a quattro o cinque centimetri di mercurio. Allora se si pone una sfera in comunicazione col polo + e l'altra col — di una macchina ad influenza ovvero del rocchetto e si fa agire questo, si osservano nella oscurità degli archi di luce violacea, i quali partono dalla sfera + e, dopo di essersi alquanto allontanati, di nuovo si avvicinano e convergono verso la sfera —, ma ne rimangono separati da uno spazio oscuro, mentre tale sfera è circondata da una sottile guaina luminosa.

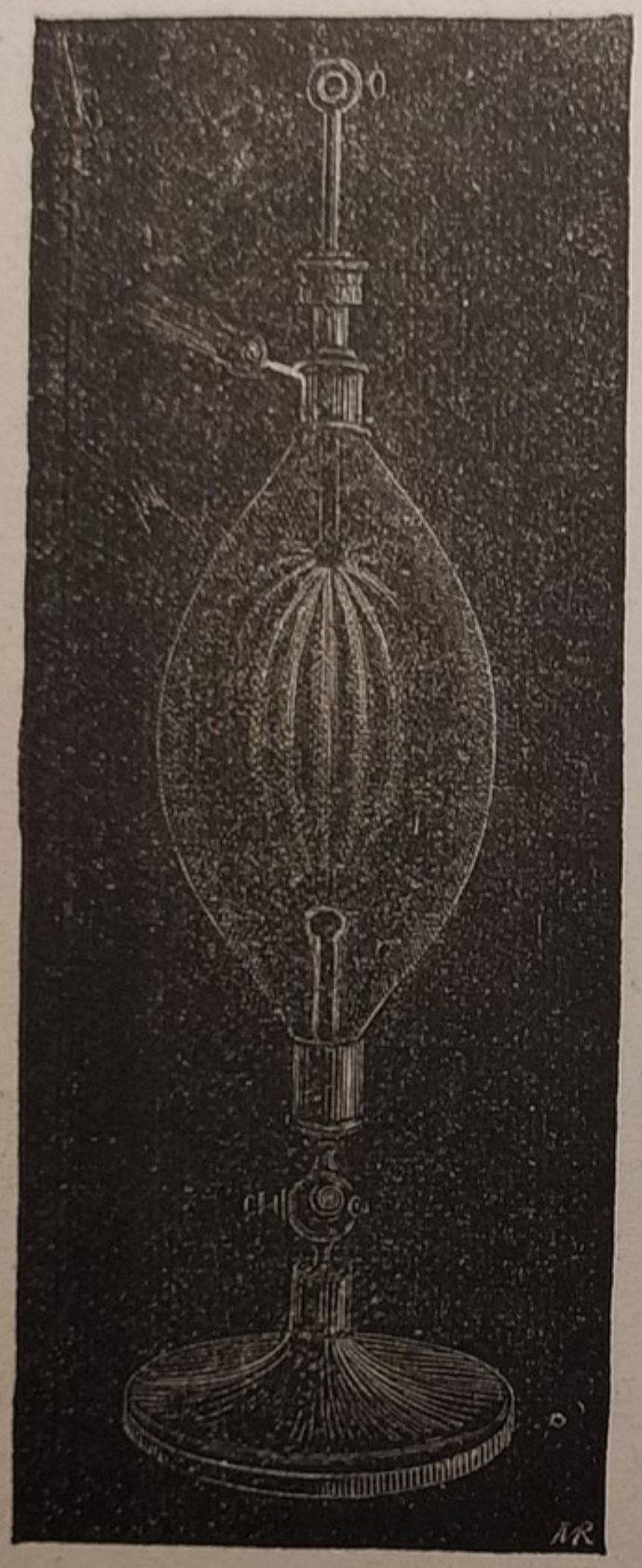


Fig. 244.

3. Tubi di Geissler. — Questi sono tubi di vetro di varie forme contenenti un gas rarefatto. Nel vetro sono saldati due fili di platino (figura 245), terminati esternamente in un anellino, a cui si possono attaccare i fili di rame, o reofori, che vi portano la scarica del rocchetto.

Si vuotano d'aria fino a 3 *mm.* circa per mezzo di una pompa pneumatica ovvero, dopo averli vuotati d'aria, si introduce nei medesimi altro gas, siccome ossigeno, idrogeno, azoto, ossido di carbonio, anidride carbonica, vapor acqueo, ecc., alla detta pressione o a pressioni ancora inferiori.

Vi si fanno passare le scariche del rocchetto congiungendo i capi del filo indotto di questo con i fili di platino che costituiscono gli elettrodi. Siccome, in generale, passano solo le scariche delle correnti di apertura (pag. 421), così essi si riempiono di luce, nella quale si possono distinguere due parti. Attorno all'elettrodo —, detto *catodo*, appare la cosidetta *aureola*, cioè una

delicata luce diffusa, di colore azzurro-violaceo, o di lavanda, che si estende verso la parete e riempie il tubo per breve tratto, mentre dall'elettrodo +, o *anodo*, che è solo coperto di una guaina di piccole scintille, parte una luce di colore variabile secondo la natura del gas, la quale si estende per tutta la lunghezza del tubo, fino ad una certa distanza dall'elettrodo —, cosicchè tra la luce + e quella — rimane uno spazio oscuro.

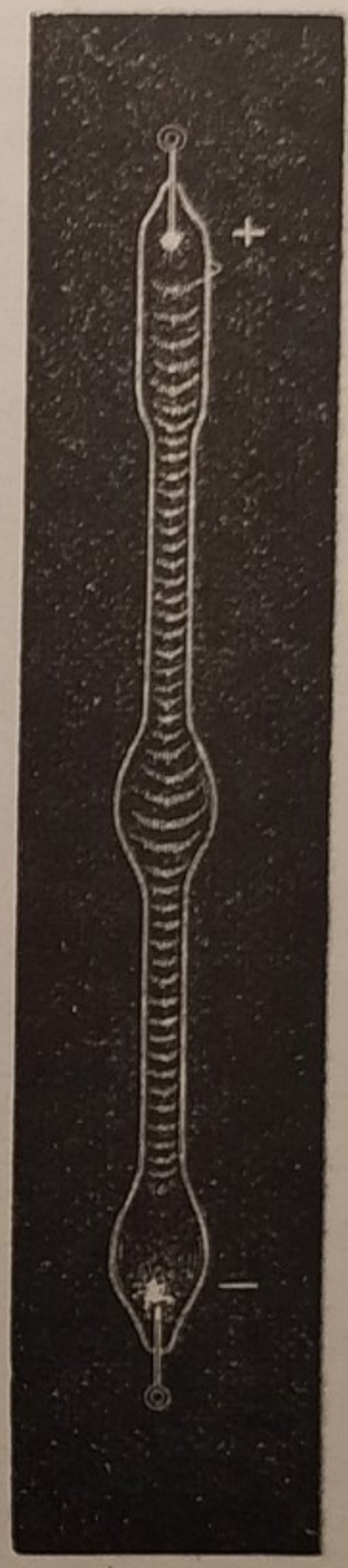


Fig. 245.

Nei tubi abbastanza lunghi poi la luce positiva non è uniforme, ma si presenta costituita da strati alternativamente luminosi e oscuri (fig. 245) perpendicolari alla lunghezza del tubo e oscillanti, i quali specialmente in vicinanza dell'elettrodo + sono convessi verso l'elettrodo —, come se il passaggio della scarica producesse una pressione nella lamina gassosa pieghevole diretta dalla estremità + alla —.

Invertendo col commutatore la direzione della corrente inducente e quindi delle scariche di induzione si inverte la posizione dell'aureola alla estremità — del tubo, e la curvatura delle stratificazioni.

In generale la luce positiva prevale per rarefazioni moderate fino ad un certo limite che sembra coincidere col grado massimo di conduttività che acquistano gli aeriformi colla rarefazione fino ad un certo grado. Per le rarefazioni oltre detto limite è la luce negativa che prevale.

4. Tubi di Crookes. — Nei tubi di Geissler ordinarii la pressione dei gas è circa $^1/_{300}$ di quella che hanno alla pressione atmosferica ordinaria. Se con una buona pompa a mercurio la rarefazione viene spinta molto più innanzi, cioè a qualche milionesimo di atmosfera, si manifestano nuovi fenomeni.

La zona oscura invade tutto il tubo ma in compenso la parete di vetro opposta al catodo, detta perciò *anticatodica*, diventa fluorescente (1) ed emette

---

(1) Certe sostanze mentre sono colpite da *radiazioni* splendono con luce che differisce da quella incidente e dal colore che esse presentano per la luce che diffondono; questo fenomeno venne chiamato *fluorescenza*, dal nome dello spato fluore, che alla luce diffusa è trasparente ed incoloro ma esposto ai raggi solari presenta uno splendore azzurro violaceo. Invece chiamasi *fosforescenza* (dal nome del fosforo) lo splendere di certe sostanze nell'oscurità posteriormente all'azione di una causa eccitatrice.

una luce che varia colle qualità del vetro ed è di color *verde pomo* pel vetro ordinario.

Di tali fenomeni si sono occupati succcessivamente Goldstein, Hittorf e sovratutto l'inglese Crookes con esperienze abilissime ed originali; perciò i tubi con tali gradi estremi di rarefazione si dicono *tubi di Crookes.*

Goldstein denominò *raggi catodici* le radiazioni particolari che emanano dal catodo in tali condizioni e Crookes denominò *materia radiante* quella che presenta i detti fenomeni.

Con molte esperienze che sarebbe troppo lungo esporre Crookes, Hittorff, Hertz, Lenard ed altri sperimentatori dimostrarono che i raggi catodici hanno le seguenti proprietà: *si propagano in linea retta indipendentemente dalla posizione dell'anodo, non attraversano il vetro ma bensì sottili strati di metalli, non impressionano l'organo della vista, hanno l'attitudine a produrre la fosforescenza in molte sostanze e ad impressionare le lastre fotografiche, male si propagano nell'aria e bene invece nel vuoto, scaricano rapidamente i corpi elettrizzati e vengono deviati dalla calamita.*

5. Raggi X, o di Röntgen. — Nel 1896 il prof. Röntgen a Wurzburgo scoprì che dalla regione anticatodica fluorescente di un tubo di Crookes partono raggi che l'occhio non discerne e che hanno la proprietà di rendere fluorescenti certe sostanze anche attraverso dei corpi opachi alla luce ordinaria; per questi raggi sono opachi: i metalli (eccetto l'alluminio) a meno che non si trovino in spessore tenuissimo, i sali metallici solidi od in soluzione, le ossa; sono semi-trasparenti: il vetro, la mica, i tessuti animali molli; sono trasparenti: il legno, la carta, l'ebanite, la paraffina, il carbone, il petrolio, l'acqua, ecc. In generale, la diversa opacità o trasparenza dei corpi pei raggi di Röntgen dipende sopratutto dalla loro densità; sono tanto più opachi quanto più sono densi.

Il Röntgen denominò *raggi X* i detti raggi per significare la loro incognita natura diversa da quella dei raggi di luce ordinaria, e i fisici li denominarono *raggi Röntgen* in onore del loro scopritore.

La sostanza fluorescente che questi trovò più adatta a svelare tali fenomeni è il *platino cianuro di bario,* il quale splende vivamente nel buio sotto l'azione dei raggi X.

Per osservare tali fenomeni si fissa verticalmente uno schermaglio costituito da un foglio di carta o cartoncino che ha una faccia coperta da uno strato aderente di platino-cianuro di bario, alla distanza di circa 2 decimetri dalla superficie fluorescente di un tubo di Crookes attivato da un buon rocchetto, in modo che la faccia fluorescente dello schermaglio sia rivolta dalla parte opposta al tubo; facendo poi il buio nella camera si vede quella faccia splendere di luce verdognola.

Di più, se fra il tubo e lo schermo si interpone la mano di una persona si vede sullo schermo l'ombra delle ossa, perchè queste intercettano i raggi X che invece attraversano la carne.

Se al posto della mano si colloca una scatola di compassi, siccome il ferro e l'ottone sono opachi pei raggi X, mentre il legno e il cuoio della

scatola sono trasparenti, si vede sullo schermaglio l'ombra degli oggetti contenuti nella scatola.

Parimenti interponendo un portamonete si vede l'ombra delle monete e dell'armatura metallica di quello.

Collocando un volume, anche di 1000 fogli, nell'interno del quale si è messo qualche oggetto opaco ai raggi X, per es. un paio di forbici, si vede l'ombra di queste.

Questo processo permette anche di distinguere i diamanti veri dai falsi, perchè quelli, costituiti da puro carbonio, sono trasparenti, mentre questi costituiti da una varietà di vetro con piombo non lo sono.

6. Radiografie. — Di più Röntgen scoprì che i raggi X sono anche capaci di azioni chimiche, cioè di impressionare le lastre fotografiche, il che permette di studiarli in modo più preciso che non colle sole impressioni fugaci e subbiettive dell'occhio. Perciò si avvolge di carta nera una lastra sensibile ordinaria per proteggerla dalla luce e si colloca orizzontalmente su di una tavola, entro una di quelle scatole di cartone del tutto impermeabili alla luce entro le quali le lastre vengono poste in commercio, collo strato sensibile rivolto in alto. Indi si posa la mano sopra la scatola e al di sopra di quella si dispone un tubo di Crookes colla faccia fluorescente rivolta in basso, alla distanza di 10 a 20 cm. dalla mano.

I raggi X attraversando la carne vanno ad impressionare la lastra mentre le ossa intercettandoli producono la loro ombra su questa e, sviluppando poi l'immagine col processo fotografico ordinario, l'ombra delle ossa risulta bianca su fondo nero nella negativa, ed inversamente sulla positiva.

Queste immagini delle ombre che producono i corpi opachi pei raggi X nascosti da involucri opachi per la luce ordinaria, ma trasparenti pei detti raggi, si dicono *radiografie* per distinguerle dalle ordinarie fotografie.

Importantissime sono oggidì le applicazioni dei raggi X alla medicina e chirurgia per scoprire, o mediante schermi fluorescenti o mediante la radiografia, le lesioni interne, la posizione dei proiettili, le rotture o deformazioni delle ossa, sovratutto nel corpo umano.

7. Proprietà generali dei raggi X. — Le ricerche di Röntgen ed altri fisici hanno dimostrato che i raggi X *si propagano in linea retta, si destano nei punti ove i raggi catodici colpiscono un ostacolo* (*vetro, alluminio, mica, platino, porcellana*, ecc.), *si propagano in tutte le direzioni, non si riflettono regolarmente nè si rifrangono, scaricano i corpi elettrizzati, non sono deviati dalle calamite mentre i raggi catodici lo sono.*

§ 82. — Telegrafo senza fili.

1. Onde elettriche. — Studiando attentamente il comportamento della scintilla elettrica, corrispondente alla scarica di un condensatore, parecchi fisici sono riusciti a verificare sperimentalmente che essa consta di moltissime scariche parziali alternativamente opposte, di grandissima frequenza, e tali da costituire una *scarica oscillante* la quale genera nell'etere circostante onde elettriche trasversali simili alle onde luminose; esse, oltre a propagarsi colla velocità della luce, si riflettono e si rifrangono colle stesse leggi. Tali onde elettriche, dette *onde Hertziane* in onore di Hertz che ne diede pel primo le prove sperimentali, possono attraversare corpi opachi alle ordinarie onde luminose, e corrispondono a numeri di vibrazioni alquanto minori di queste, e quindi a lunghezze di onde alquanto maggiori.

Il telegrafo senza fili, di Marconi, è fondato sulla propagazione e sulle proprietà delle onde Hertziane.

2. Eccitatore. — Si chiama *eccitatore* o *vibratore* od *oscillatore* un apparecchio capace di generare onde elettriche. Esso si interpone fra le sferine dell'arco scaricatore di un rocchetto d'induzione, e consiste in due grosse sfere metalliche immerse a piccola distanza nell'olio di vaselina, in modo che le superfici affacciate si mantengano sempre pulite, in modo cioè che, scoccando fra esse le scintille, la loro superficie speculare non abbia poi a presentare delle rugosità le quali facciano sfuggire gradatamente la elettricità, e tolgano la violenza della scarica.

Le scintille scoccanti fra le due grosse sfere allorchè il rocchetto funziona sono le generatrici delle onde Hertziane.

3. Coherer. — Le limature metalliche contenute in tubetti di vetro, od altra materia isolante, se non sono pigiate oppongono grande resistenza alle correnti elettriche e non le lasciano passare, permodochè se del circuito di una pila fanno parte un tubetto a limatura metallica ed un galvanometro, chiudendo il circuito, questo non dà alcun segno del passaggio di corrente. Ma se arrivano sul tubetto onde elettriche, la sua resistenza, per un assetto più intimo delle polveri metalliche, diminuisce repentinamente a tale che il passaggio della corrente avviene ed il

galvanometro dà segnali. Questi persistono finchè le polveri rimangono nelle medesime condizioni, però un leggiero colpo dato al tubetto lo ritorna nelle condizioni primitive di grande resistenza, cosicchè riesce nuovamente impedito il passaggio della corrente.

L'azione diretta delle scariche elettriche sulle polveri metalliche venne scoperta nel 1885 dal Calzecchi; di poi il Lodge ed il Branly scopersero che il tubetto diventa conduttore anche se la scarica elettrica è prodotta a distanza da esso, e che un tal mezzo per rivelarla è sensibilissimo.

Al tubetto ora nominato il Lodge dette il nome di *coherer* (aderitore).

Il *coherer* usato da Marconi è costituito da un tubetto di vetro di 3 a 4 mm. di diametro, lungo circa 4 cm., nel cui interno vi sono due cilindretti o elettrodi di argento distanti fra loro 1 mm. circa, tra i quali vi è limatura di nikel (96 per 100) e limatura di argento (4 per 100), pressochè vuoto di aria ma con traccie di vapore di mercurio.

I due elettrodi di argento comunicano coll'esterno mediante due fili di platino saldati nel vetro.

4. Apparecchi per la dimostrazione sperimentale del principio della telegrafia senza fili. — Si può dimostrare sperimentalmente il *principio della telegrafia senza fili* mediante gli apparecchi rappresentati dalle fig. 246, 247, la prima delle quali rappresenta il trasmettitore e la seconda il ricevitore.

Il trasmettitore consiste semplicemente in un oscillatore (O), in un rocchetto d'induzione (I) nel cui circuito induttore sono intercalati una pila (A) ed un tasto Morse (C). Quando col tasto si chiude il circuito induttore del rocchetto ad ogni scintilla data dall'oscillatore corrisponde l'emissione di un'onda elettrica.

Il ricevitore è costituito da un *coherer* (m) uno dei cui elettrodi comunica con un polo di una coppia elettromotrice E_1 e l'altro comunica col secondo polo di questa mediante un soccorritore o relais R. (pag. 407). Di più i due elettrodi del *coherer* sono rispettivamente in comunicazione con due lamine metalliche sostenute da colonne isolanti le quali hanno per iscopo di aumentare l'effetto delle onde elettriche sul *coherer*. Il relais funzionando

può chiudere il circuito di due coppie elettromotrici E_2 passante per una soneria elettrica (L). I due apparecchi si collocano ordi-

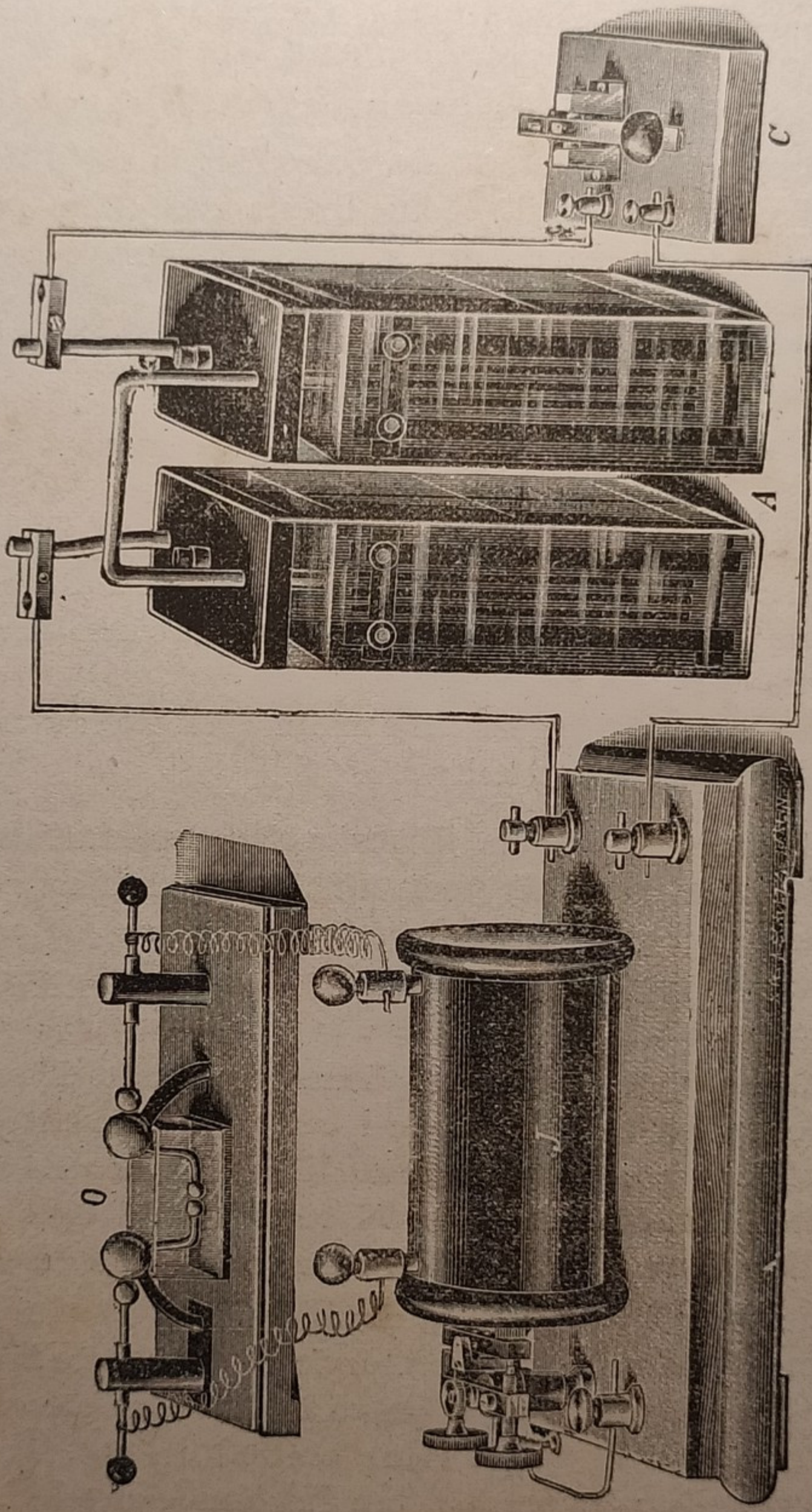


Fig. 246. (1).

(1) I clichés delle due figure 246 e 247 furono gentilmente prestati dalla casa Eisentraeger di Milano, fornitrice di apparecchi Marconi, e rappresentante della casa Ernecke di Berlino. Nella figura 246 si suppongano un poco distaccate dalle sfere più grandi le sferine che mediante reofori comunicano coi due capi del *secondario* del rocchetto di induzione.

può chiudere il circuito di due coppie elettromotrici E_2 passante per una soneria elettrica (L). I due apparecchi si collocano ordi-

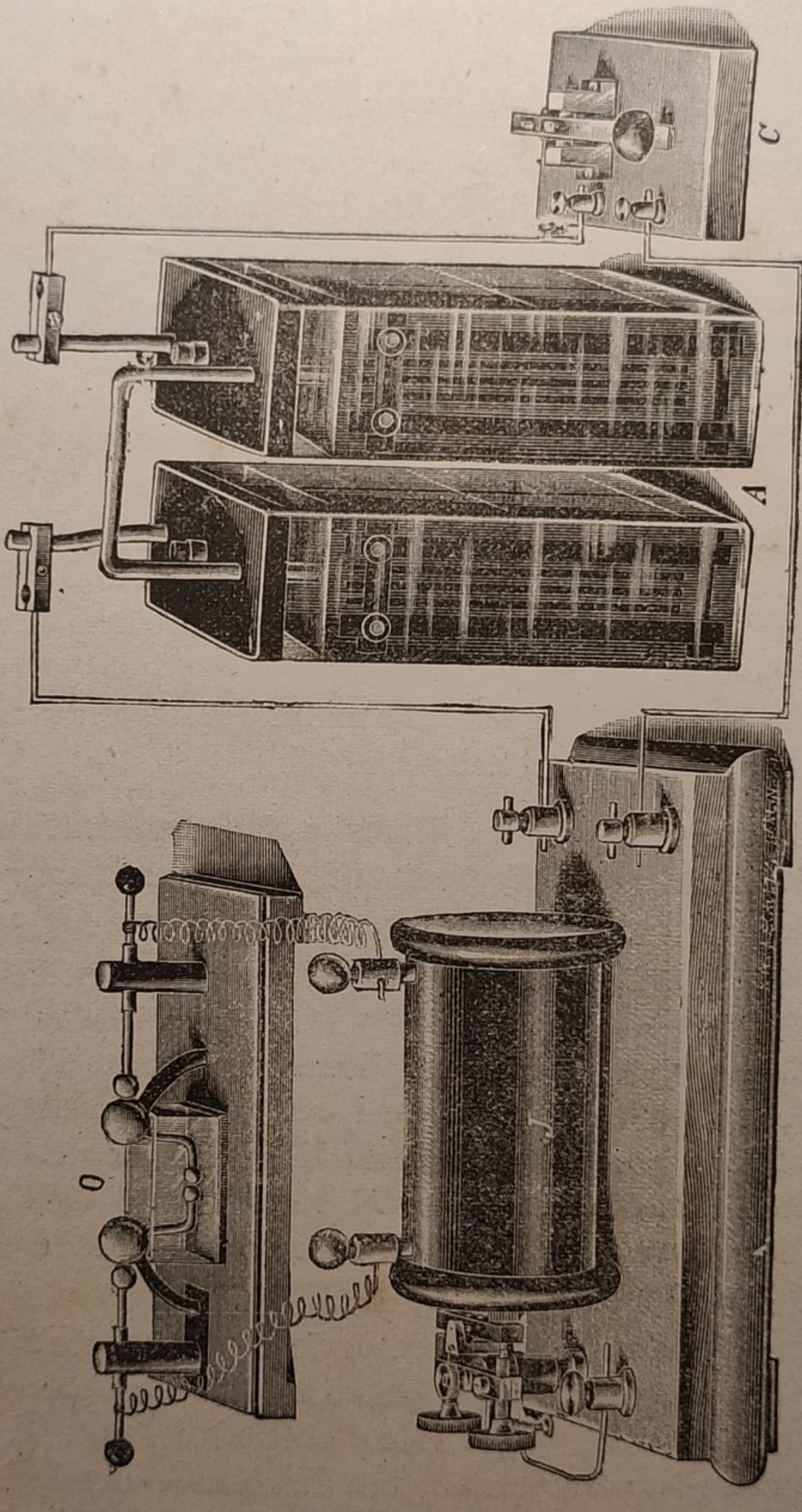


Fig. 246. (1).

(1) I clichés delle due figure 246 e 247 furono gentilmente prestati dalla casa Eisentraeger di Milano, fornitrice di apparecchi Marconi, e rappresentante della casa Ernecke di Berlino. Nella figura 246 si suppongano un poco distaccate dalle sfere più grandi le sferine che mediante reofori comunicano coi due capi del *secondario* del rocchetto di induzione.

nariamente in una stessa camera alla distanza di alcuni metri

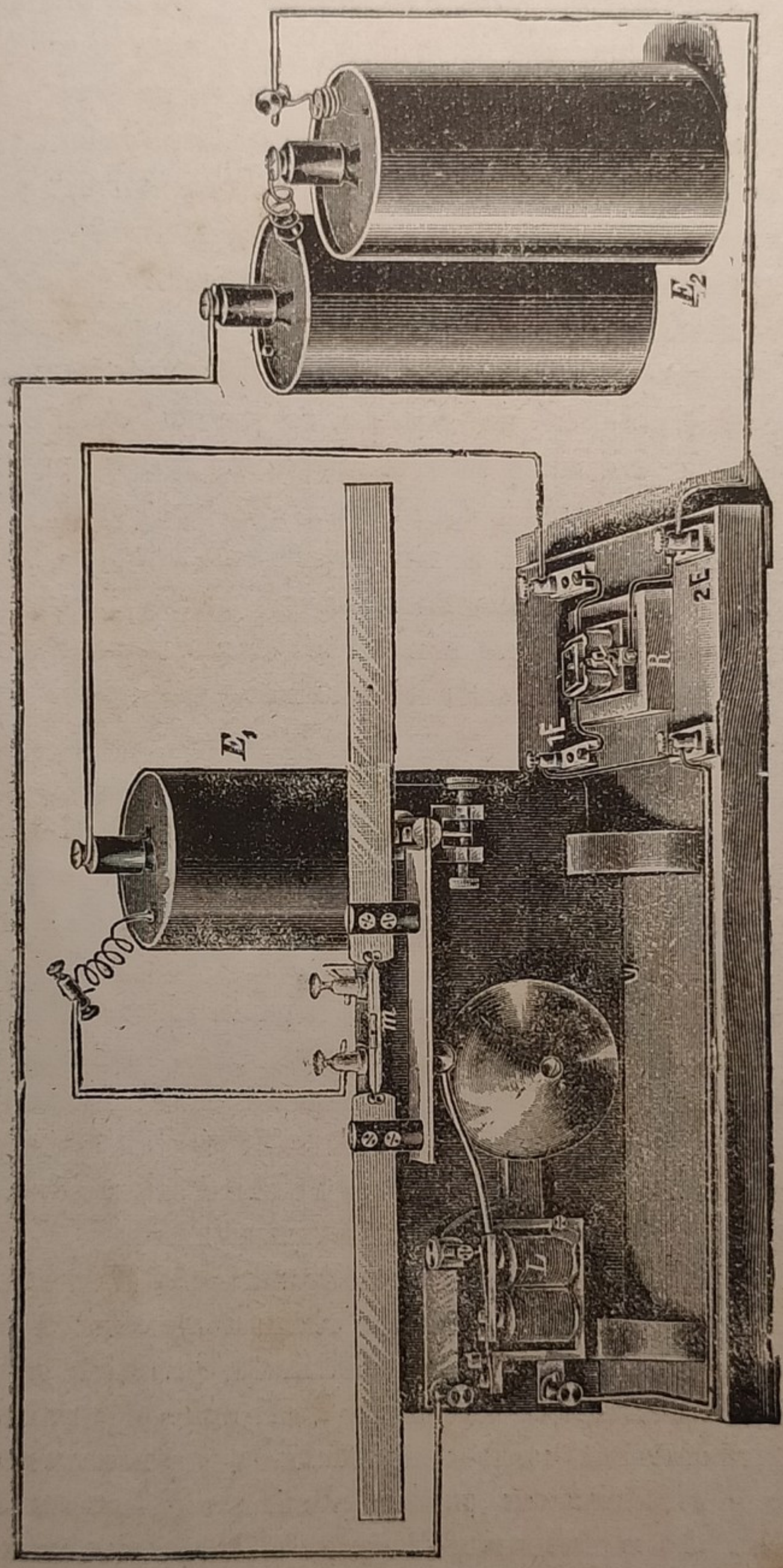


Fig. 247.

l'uno dall'altro. Quando si fa agire l'oscillatore le onde elettriche che esso genera arrivando sul *coherer* ne rendono conduttrice la

nariamente in una stessa camera alla distanza di alcuni metri

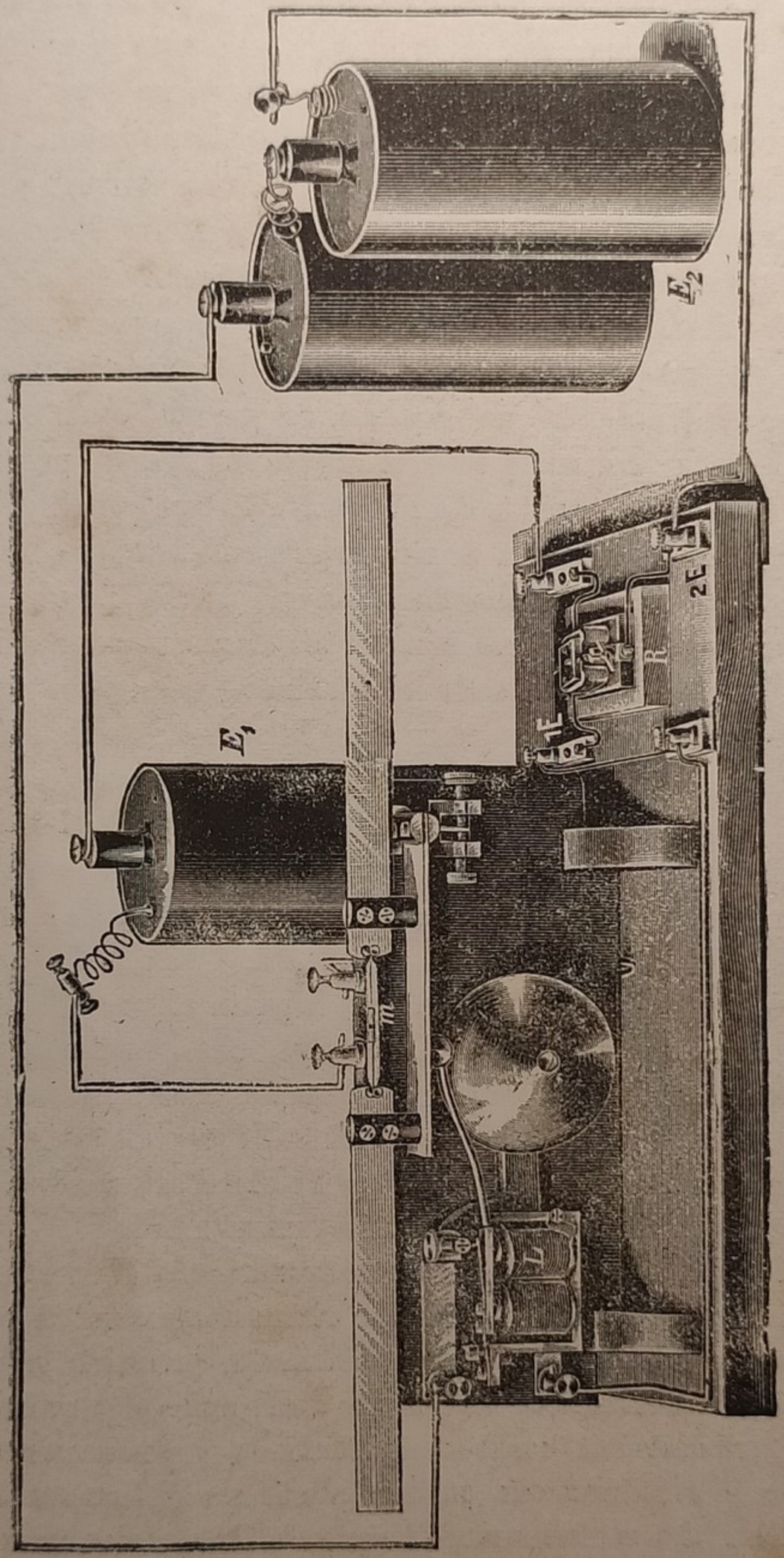


Fig. 247.

l'uno dall'altro. Quando si fa agire l'oscillatore le onde elettriche che esso genera arrivando sul *coherer* ne rendono conduttrice la

polvere, e la corrente della coppia E_1 chiudendo il circuito del relais fa sì che quella delle due coppie E_2 possa passare per la soneria e farla funzionare per brevissimo tempo, perchè il martelletto della soneria mentre scuote la campana scuote pure una lastrina sovrastante che porta il *coherer* e allora questo non lascia più passare la corrente finchè nuove onde non arrivino ancora.

Se alla soneria si sostituisce un telegrafo Morse questo può parimenti funzionare. In questo caso una derivazione della corrente che fa funzionare l'apparecchio Morse passa per una elettrocalamita che muove un martelletto il quale scuote il *coherer* nell'atto che il Morse dà un segnale. Se per un' onda emessa dal trasmettitore si ha un punto all'apparato Morse, per una successione di onde, in virtù dell'inerzia dell'apparecchio, si avrà una linea; per cui si potrà corrispondere coll'alfabeto Morse.

I due apparecchi ora descritti possono anche funzionare, per una breve distanza, da una camera all'altra attraverso i muri e le porte perchè le onde elettriche attraversano certi corpi che sono opachi per l'energia raggiante luminosa; negli apparecchi che funzionano a distanze maggiori una delle estremità dell'oscillatore si congiunge con un'asta metallica verticale (filo di rame) detta *antenna* che si innalza per parecchi metri, e l'altra col suolo; nel ricevitore analogamente un elettrodo del *coherer* è unito ad una antenna e l'altro alla terra. Quando l'apparecchio trasmittente funziona il filo verticale diventa un radiatore di onde elettriche; e l'esperienza ha dimostrato che l'aggiunta dell'antenna di altezza opportuna e della presa di terra rende l'oscillatore atto ad irradiare onde elettriche di grande potenza a distanze enormemente maggiori di quelle che d'ordinario si possono raggiungere coi semplici apparecchi dimostrativi.

5. Ultime modificazioni degli apparecchi Marconi. — Fra i diversi perfezionamenti apportati ultimamente dal Marconi ai suoi apparecchi sono a notarsi specialmente quelli che riguardano l'antenna ed il rivelatore dell'arrivo delle onde elettriche.

Per trasmissioni radio-telegrafiche a grandissime distanze l'antenna è sostituita da un padiglione aereo formato da molti fili verticali che si riuniscono insieme in basso ove comunicano con gli apparecchi della rispettiva stazione. Al rivelatore di onde già descritto (il *coherer*) è sostituito un altro chiamato *detector*

magnetico (rivelatore magnetico) costituito da un fascio di sottili fili di acciaio su cui sono avvolti, come in un rocchetto di Rumkorff, due circuiti, di cui l'interno (primario) risulta composto di uno o due strati di sottil filo di rame coperto di seta, e l'altro (secondario) di dieci o più strati di filo di rame isolato ed ancor più sottile. Gli estremi del primario sono rispettivamente in comunicazione coll'antenna e col suolo, quelli del secondario con un telefono (pag. 451). Il detector è poi disposto fra le branchie di una calamita a ferro di cavallo la quale, per mezzo di un congegno d'orologeria, è mantenuta in rotazione (opportunamente lenta) intorno ad un asse in modo che i suoi poli alternativamente si accostino e si allontanino dagli estremi del fascio di fili di acciaio; e ciò allo scopo di causare una costante e continua variazione nella magnetizzazione del fascio; però la lentezza di detta variazione è tale che al telefono non si avverte alcun rumore. Ma se (come ha osservato il Marconi) una serie di onde elettriche investe l'antenna, avvengono tosto rapidi cambiamenti nella magnetizzazione dei fili di ferro, i quali danno luogo a correnti indotte nel circuito secondario collegato al telefono; queste vengono avvertite al telefono come rumori più o meno prolungati a seconda che alla stazione trasmittente il tasto fu tenuto più o meno lungamente abbassato. Si comprende quindi come da un' opportuna combinazione di questi rumori possa risultare il linguaggio telegrafico.

L'esperienza ha dimostrato in modo assoluto che il detector magnetico supera il *coherer* per sensibilità e per sicurezza di funzionamento.

6. Limiti di distanza che si possono raggiungere nella radiotelegrafia. — Le prove eseguite dal Marconi in questi ultimi anni, e sopratutto quelle eseguite nello scorso anno sulla R. nave Carlo Alberto, danno affidamento che non vi sia distanza la quale limiti la propagazione delle onde elettriche quando l'energia di trasmissione sia proporzionale alla distanza da raggiungere, e di più che le terre interposte fra due stazioni non abbiano ad interrompere mai la rispettiva loro comunicazione. Sembrava poi che, propagandosi le onde elettriche in linea retta come le luminose, ed essendo i corpi buoni conduttori dell'elettricità (suolo, acqua) di ostacolo alla loro propagazione, dovesse

riuscire impossibile il superare, ad esempio, la difficoltà che deriva dalla rotondità della terra; in ottica però è risaputo che le onde luminose possono incurvarsi girando intorno agli orli di un ostacolo (*fenomeno di diffrazione*), e che il fenomeno è più spiccato per le radiazioni di maggior lunghezza d'onda; ora, siccome la lunghezza delle onde elettriche che si impiegano nella radiotelegrafia è enormemente maggiore di quella delle onde luminose, così si comprende come le prime possano contornare le montagne e superare le prominenze dovute alla rotondità della terra.

7. Accordo degli apparecchi trasmittente e ricevente. — Siccome le onde elettriche vanno in tutte le direzioni, si comprende come esse abbiano ad esercitare la loro azione su tutti gli apparecchi riceventi che, entro un certo perimetro, incontrano per via. Per portare la radiotelegrafia nel campo delle applicazioni pratiche, sia commerciali che militari, si è quindi presentata, come assolutamente indispensabile, la risoluzione del problema seguente: eliminare il pericolo che venga compromesso il segreto delle comunicazioni, e che i segnali di una stazione vengano perturbati da quelli di un'altra stazione funzionante contemporaneamente. Al primo pericolo si può anche facilmente ovviare con l'uso di un frasario convenzionale, ma l'eliminazione completa del secondo (molto più grave) si impone in modo assoluto. A questo riguardo le difficoltà da vincere sono molto serie; di queste però si può dire che il Marconi abbia già ormai trionfato, ottenendo pei suoi apparecchi la *sintonizzazione*, cioè quel fenomeno che nell'acustica è conosciuto sotto il nome di *risonanza* (Vol. I, pag. 322); è a desiderarsi però che l'accordo fra gli apparecchi della stazione trasmittente e quelli della stazione ricevente si abbia a poter ottenere ancor più completo; quindi sarà bene che l'argomento formi ancora oggetto di studi.

Recentemente il prof. Artom è riuscito ad ottenere, con disposizioni speciali sulle quali in un libro elementare non ci possiamo fermare, di poter assegnare alle oscillazioni del trasmettitore una determinata direzione. Il nuovo sistema (che avrà naturalmente bisogno di ulteriori perfezionamenti prima di ottenere una pratica applicazione) ha già avuto una piena conferma colle esperienze da poco eseguite in una delle stazioni radiotelegrafiche della Spezia, e potrà essere di utile contributo nella soluzione del problema della costruzione di *apparecchi sintonici*.

§ 83. — Le macchine dinamo-elettriche.

1. — Si chiamano in generale **macchine dinamo-elettriche** delle macchine speciali che servono a trasformare l'energia meccanica in energia elettrica mediante l'induzione di magneti o di elettro-magneti.

2. La macchina magneto-elettrica di Clarke che è fra le più antiche (fig. 248) è costituita da un fascio magnetico a ferro di cavallo (A), fisso ad una tavoletta di legno, di fianco ai cui poli si può far girare un sistema di due rocchetti (B, B′) con nuclei di ferro dolce comunicanti fra loro mediante una lastra di ferro dolce (V). Questi rocchetti col loro nucleo di ferro costi-

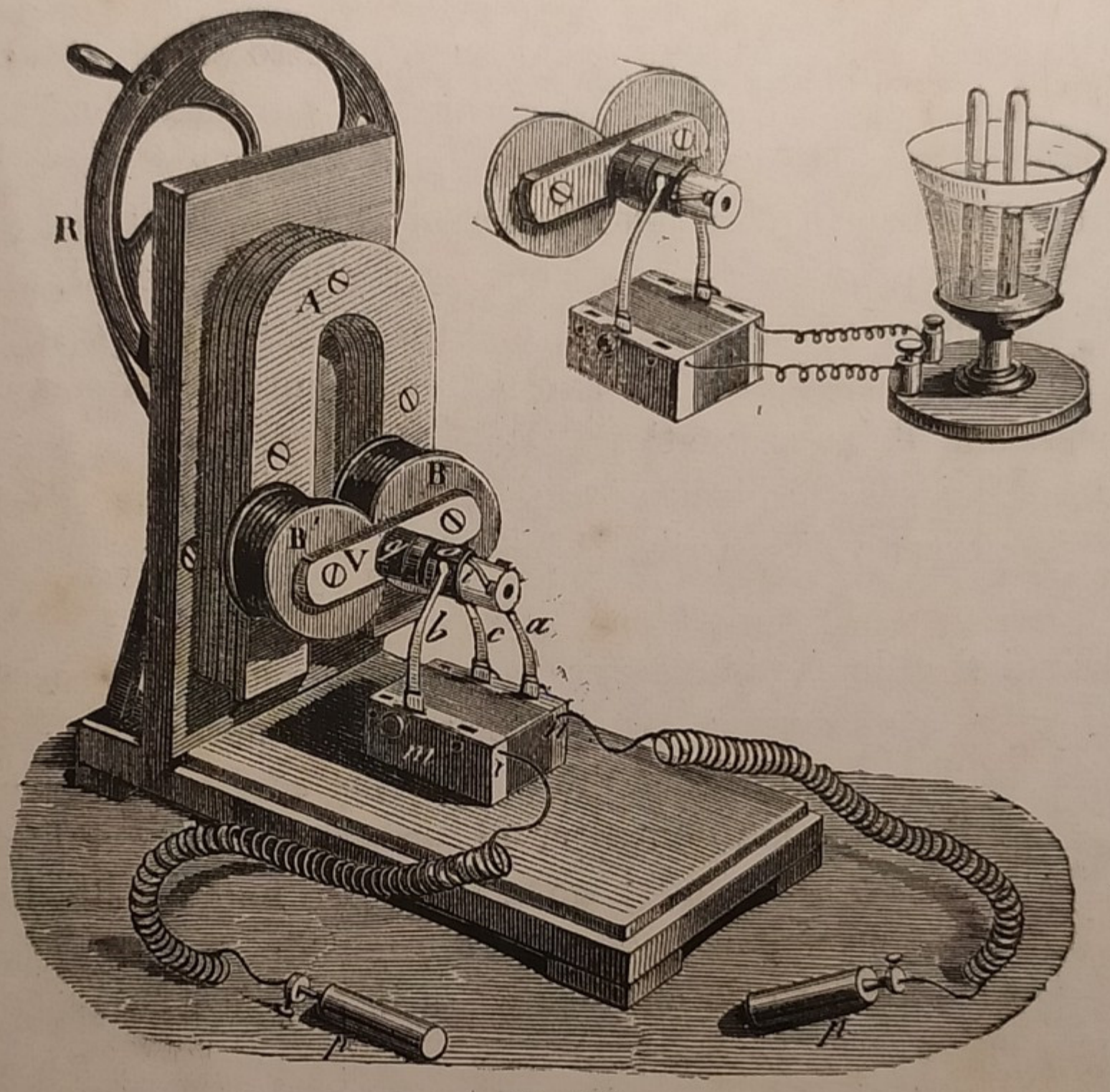


Fig. 248.

tuiscono l'*armatura* della macchina. Il filo di un rocchetto è unito a quello dell'altro ad un' estremità, e gli altri due capi comunicano con anelli metallici applicati all'asse di rotazione dei medesimi ed isolati fra loro. Sui detti anelli appoggiano molle metalliche (*a b c*) comunicanti coi reofori esterni, il che costituisce il *contatto a sfregamento*.

Per la rotazione del sistema dei due rocchetti, questi si avvicinano e si allontanano alternativamente dai poli del magnete, e perciò nascono nei medesimi correnti di induzione, sia pel fatto

del loro avvicinamento ed allontanamento dai detti poli, sia sovratutto perchè ciascun nucleo di ferro dolce si magnetizza e smagnetizza per induzione magnetica, ed è come se si introducesse e togliesse in ciascun rocchetto un magnete; le quali due induzioni si sommano.

Queste correnti hanno in ciascun rocchetto direzione costante finchè esso percorre la semicirconferenza che sta da una parte della linea dei poli, perchè quando un rocchetto si allontana da un polo si avvicina ad un polo contrario. Infatti la corrente che nasce coll'avvicinamento è contraria a quella che nasce coll'allontanamento se i poli sono omonimi; ma se sono contrarii avviene una doppia inversione di una corrente rispetto all'altra, il che dà luogo ad un raddrizzamento, cioè ad una direzione eguale delle due correnti. Ma avviene poi contemporaneamente un' inversione delle correnti indotte nei fili dei due rocchetti quando questi passano avanti i due poli, perchè prima di tale passaggio ciascuno di essi si avvicina, e dopo si allontana da uno stesso polo.

Quindi si vede che in ciascun rocchetto nascono due correnti dirette nello stesso verso quando percorre il mezzo giro che si trova da un fianco della linea dei poli, e due correnti pure nello stesso verso fra loro, ma contrario al precedente, quando percorre l'altro mezzo giro che si trova dall'altro fianco della linea dei poli, e che l'inversione della corrente nel filo di ciascun rocchetto avviene nell'atto in cui esso passa in presenza di ciascun polo magnetico.

Dette correnti arrivano agli anelli e da questi passano nelle molle e poi nel circuito esterno comunicante colle medesime.

3. Commutatore. — Ma si possono anche ottenere nel circuito esterno correnti di direzione costante mediante il *commutatore*, con cui si può effettuare un cangiamento di contatto delle molle con due semianelli isolati fra loro, a cui sono congiunti i fili dei due rocchetti, nell'istante in cui le correnti mutano direzione in questi, cosicchè una molla abbandoni il contatto del semianello positivo nell'istante in cui per l'inversione della corrente diviene negativo, e venga invece in contatto coll'altro semianello che diviene positivo, ed inversamente per l'altra molla.

4. Macchina magneto-elettrica di Siemens. — Un importante miglioramento nelle macchine magneto-elettriche venne effettuato da Siemens (1856), mediante una forma speciale di rocchetto che permette di utilizzare meglio il campo magnetico, aumentare la velocità di rotazione, e di accorciare la durata dell'interruzione della corrente. Consiste in un cilindro di ferro dolce con due incavature longitudinali opposte, parallele all'asse del cilindro, in guisa che la sezione di questo viene ad avere la forma di un doppio T (fig. 249). Tali incavature esistono anche nelle due basi del cilindro, ed in esse è avvolto parallelamente all'asse un filo di rame isolato, permodochè viene ristabilita la forma cilindrica.

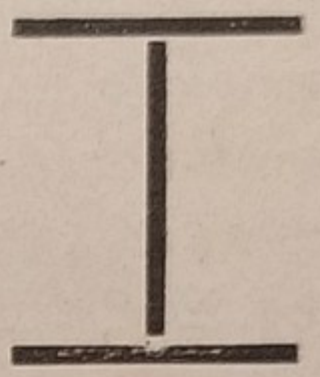


Fig. 249.

Questo cilindro è collocato fra i poli di un magazzino magnetico a ferro di cavallo, i quali poli sono alquanto incavati nelle faccie interne, cosicchè risulta una cavità cilindrica in cui il cilindro viene fatto girare attorno al suo asse con grande velocità. I due capi del filo del rocchetto sono congiunti, l'uno all'asse di rotazione del cilindro e l'altro ad un anello isolato da quello, e le correnti d'induzione vengono mediante laminette condotte nel circuito esterno. Ad ogni semirotazione la direzione delle correnti indotte si inverte, cioè risultano qui pure correnti invertite; ma l'intervallo fra l'una e l'altra diviene così piccolo, che quando, mediante un commutatore, esse vengono dirette nello stesso verso nel circuito esterno, ne risulta una corrente quasi continua.

5. Difetti delle descritte macchine magnetoelettriche. — Esistono varie forme di commutatori, che conservano la direzione costante alla corrente col circuito esterno; ma essi hanno tutti il difetto di dare scintille nell'interruzione, le quali non solo consumano una parte della corrente ma colle correnti energiche possono produrre fusione delle superfici metalliche fra cui avvengono.

Un secondo difetto di tali macchine si è che i magneti permanenti per gli scuotimenti perdono di forza, per cui la loro azione inducente si indebolisce.

Infine il terzo e principale difetto si è la continua variazione di intensità della corrente, perchè l'induzione nei rocchetti varia col variare della loro distanza dai poli.

6. La macchina magneto-elettrica di Gramme (fig. 250) è composta da un fascio magnetico verticale (C) formato da 25 o

più lamine sottili di acciaio magnetizzato, i cui poli sono abbracciati da due ancore di ferro dolce (a, a), che ne costituiscono le faccie polari. Fra queste viene fatto girare, attorno ad un asse perpendicolare al piano del fascio magnetico, un anello (A) formato da un fascio di fili di ferro dolce di circa 1 *mm.* di diametro, saldati ai loro capi in contatto. Attorno al medesimo sono avvolte numerose spirali, o rocchetti di filo di rame (r, r, r, fig. 251), il filo dei cui capi vicini è saldato a lastre di rame

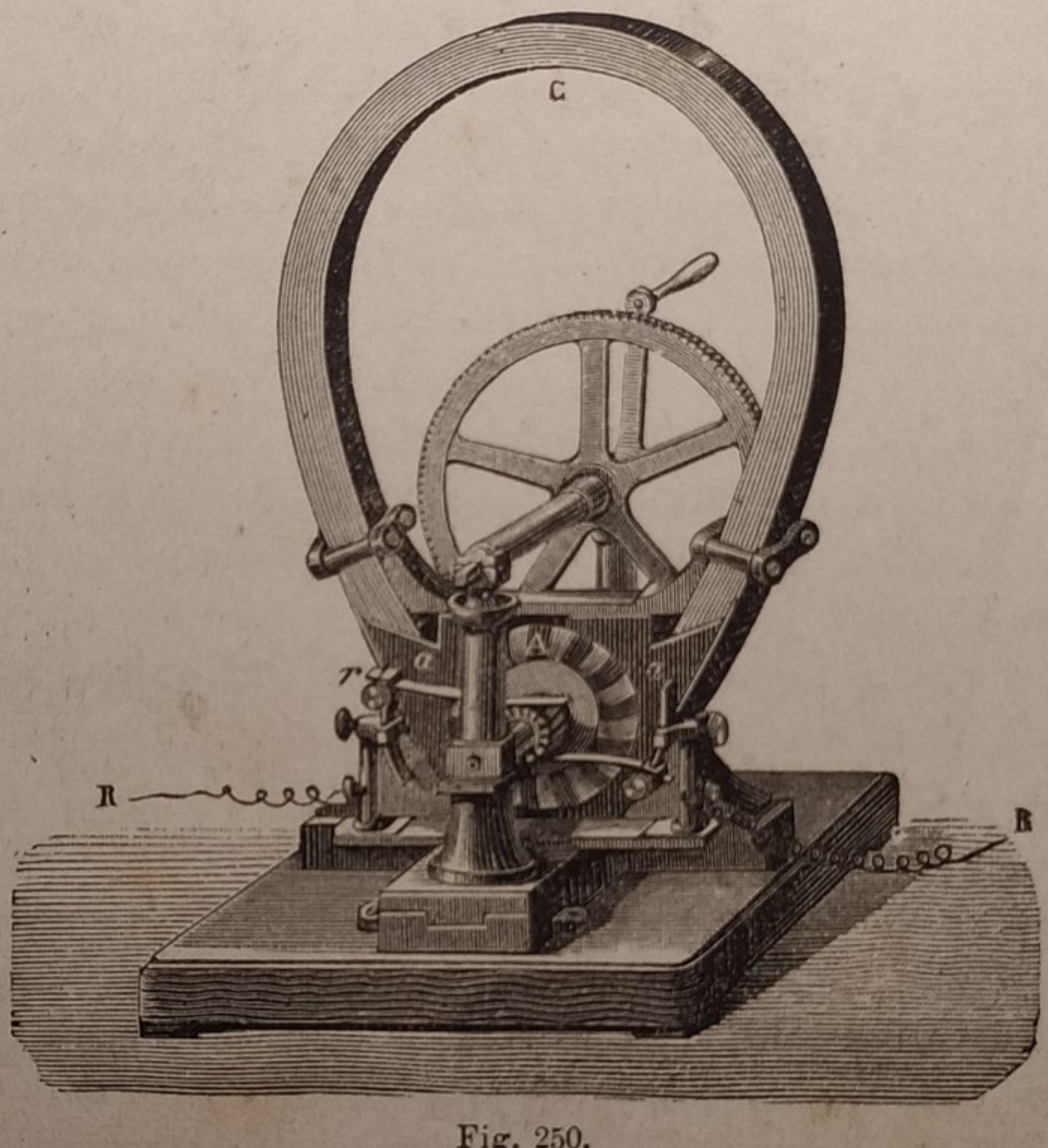


Fig. 250.

(l, l, l) in direzione *radiale*, le quali poi si piegano a squadra nella direzione *assiale*, e sono fisse, ma isolate fra loro, sulla superficie di un cilindro isolante (I) di legno di bosso, su cui sono sporgenti in modo da dare al cilindro un aspetto scanalato. L'insieme delle lamine a squadra che avvolge completamente la periferia di un tratto del cilindro costituisce il *collettore*, sul quale appoggiano in due punti diametralmente opposti due spazzole, di rame o di carbone (l'una r, fig. 250, superiore, l'altra inferiore), che raccolgono le correnti di direzione costante

indotte nei rocchetti per la loro rotazione nel campo magnetico della calamita. Esse sono fissate a due colonnette metalliche laterali a cui si attaccano i reofori (R, R) che conducono la corrente all'esterno.

Nel modello della fig. 250 i rocchetti sono in numero di 26, e alternativamente rivestiti di filo chiaro e oscuro, ciò che permette di distinguerli. Per una data velocità di rotazione e una stessa calamita, l'intensità della corrente dipende dale dimensioni, lunghezza e sezione del filodei rocchetti, ed è sensibilmente proporzionale alla velocità di rotazione. Colle dimensioni ordinarie di tali macchine per gabinetti di fisica e una velocità d rotazione dell'anello di 10 giri per secondo, la quale si può facilmente ottenere, la forza elettromotrice è eguale a quella di 15 a 16 elementi Daniell, ovvero di 8 a 10 elementi Bunsen, permodochè possono sostituire le pile in molte esperienze elettriche

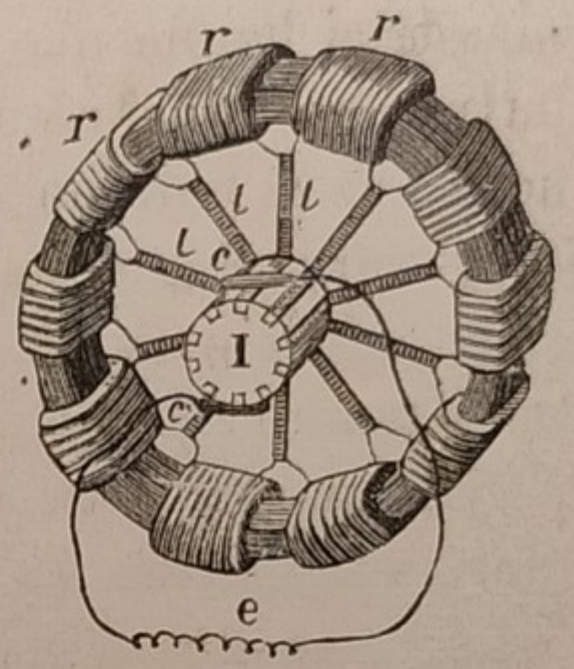


Fig. 251

La *funzione della macchina* si interpreta osservando che per l'influenza del magnete l'anello si magnetizza come se fosse costituito da due magneti semicircolari $n\,p\,s$, $n'\,p'\,s'$ (fig. 252), aventi in $n\,n'$, $s\,s'$ i poli omonimi affacciati, ed in p, p' le loro linee neutre. Colla rotazione dell'anello tali poli si trasportano nel medesimo, in verso contrario a quello della rotazione. L'effetto è lo stesso come se l'anello di ferro dolce, con un polo N di fianco al polo S del magnete e un polo S di fianco al polo N, fosse immobile, e scorressero lungo il medesimo i rocchetti. Ora per ale movimento nasce in ciascun rocchetto una corrente sempre diretta nello stesso verso finchè esso percorre la metà $p\,n\,n'\,p'$ dell'anello che si trova da una parte della linea neutra $p\,p'$, ma che cangia direzione quando

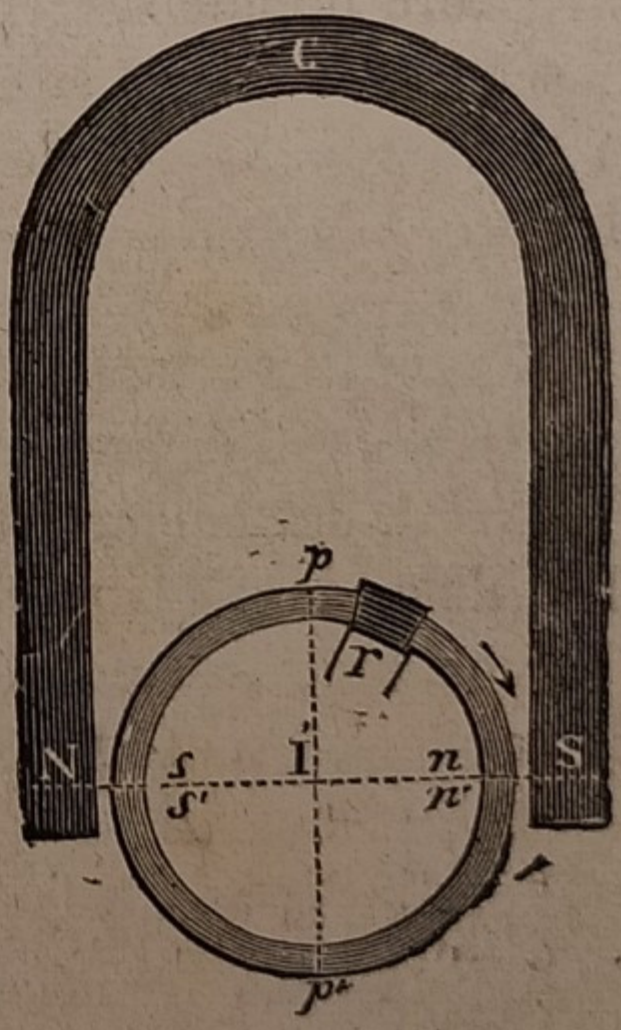


Fig. 252.

il rocchetto percorre l'altra metà dell'anello che si trova dall'altra parte della detta linea, la quale chiamasi appunto *linea di commutazione*. Infatti, l'esperienza prova che, chiudendo il rocchetto r con un galvanometro, si verificano tante inversioni di correnti quanti sono i passaggi sulla zona neutra $p\,p'$. Se ora si considera ad un dato istante l'insieme dei rocchetti in moto si vede che in tutti quelli che si muovono da un lato del diametro $p\,p'$ le forze elettromotrici hanno uno stesso senso, contrario a quello delle forze elettromotrici nei rocchetti che si muovono dall'altro lato. I rocchetti che si trovano a destra del diametro $p\,p'$ si possono perciò paragonare ad altrettante coppie di una pila la quale, ad esempio, presenterà il polo positivo in p ed il negativo in p'; così i rocchetti che si trovano a sinistra dello stesso diametro, alle coppie di una pila che presenterà il suo polo positivo in p ed in p' il negativo. Dunque il sistema equivarrà in certo modo come ad una combinazione di due pile disposte in superficie coi poli positivi, ad esempio, dalla parte di p ed i negativi dalla parte di p'; se quindi in corrispondenza a tali posizioni porremo le spazzole, con queste raccoglieremo la corrente da portarsi nel circuito esterno; e siccome durante la rotazione ciascuna lamina del collettore prende successivamente il posto delle precedenti perciò ciascuna presenterà successivamente le fasi presentate dalle altre; la serie rapidissima delle successive correnti che si otterranno si potrà in pratica considerare come una corrente continua.

7. Autoeccitazione. — L'intensità delle correnti elettriche sviluppate coll'induzione magnetica dipende evidentemente dall'intensità del magnetismo eccitatore. Ora, siccome colle correnti elettriche si possono ottenere elettrocalamite assai più potenti delle calamite permanenti, nacque l'idea di sviluppare le correnti elettriche mediante l'induzione di elettrocalamite anzichè di calamite permanenti.

Di più, si è trovato che per ottenere potenti elettrocalamite non fa bisogno di disporre della forte corrente elettrica di una pila o di altro apparecchio elettromotore, ma basta il debole magnetismo che possiede sempre il ferro dolce, o per l'azione magnetizzante della terra, o per il debole *magnetismo rimanente* nel medesimo quando sia stato sottoposto una prima volta

alla magnetizzazione, perchè *con questo debole magnetismo si possono già ottenere deboli correnti elettriche, le quali circolando in fili avvolti attorno al ferro dolce ne esaltano il magnetismo, e questo alla sua volta induce correnti più energiche nel circuito rotante nel campo magnetico, e così di seguito fino ad un certo limite*, che dipende sia dalla saturazione magnetica, sia dal lavoro che bisogna consumare per vincere le resistenze che si oppongono alla rotazione, sia infine dal riscaldamento dei fili.

Questo fatto del rinforzo reciproco del magnetismo e dell'intensità delle correnti indotte chiamasi il *principio dell'autoeccitazione*, e venne scoperto quasi contemporaneamente da Werner Siemens (gennaio 1867) e da Wheatstone (febbraio 1867). Sul medesimo sono fondati gli elettromotori che si dicono *macchine dinamoelettriche*, od *autoeccitatrici*, oggidì in uso per ottenere assai intense correnti elettriche mediante l'energia meccanica (macchine a vapore, a gas, idrauliche); mentre le macchine del tipo primitivo a calamite d'acciaio che erano chiamate *magneto elettriche* ora diconsi piuttosto a *campo permanente*.

8. — Descriveremo, come esempio tipico, la **macchina dinamoelettrica di Gramme**. È costituita (fig. 253) da un sistema induttore composto di due elettrocalamite (N L S, N′ L′ S′) sulle quali è avvolto un grosso filo di rame in guisa che i poli omonimi delle medesime (N N′, S S′) sieno affacciati. Questi poli si espandono in due masse di ferro dolce (a, a') fatte ad arco, ma non in contatto, fra le quali può girare l'anello indotto. I fili dei rocchetti componenti questo sono uniti alle lastrine di rame isolate fra loro, che si piegano ad angolo retto nella direzione dell'asse dell'anello, sulle quali appoggiano due spazzolini metallici (r r') che raccolgono le correnti indotte nella rotazione dell'anello, le quali si compongono in una corrente unica continua, che parte da uno spazzolino, va nel circuito esterno, indi ritorna alla macchina, passa nel filo delle due elettrocalamite, e va all'altro spazzolino.

Infine l'anello viene messo in rotazione da una macchina a vapore, o da una ruota idraulica, o altro motore qualunque, mediante una cinghia che passa su una puleggia (P) fissa ad un capo dell'asse dell'anello.

La descritta macchina Gramme funziona nel modo già esposto per l'anello indotto e secondo l'enunciato principio dinamoelettrico. Infatti, la macchina dinamoelettrica di Gramme non è che la macchina magnetoelettrica dello stesso, nella quale è applicato il detto principio dell'autoeccitazione, sostituendo alla calamita permanente un' elettrocalamita mantenuta attiva col far circo-

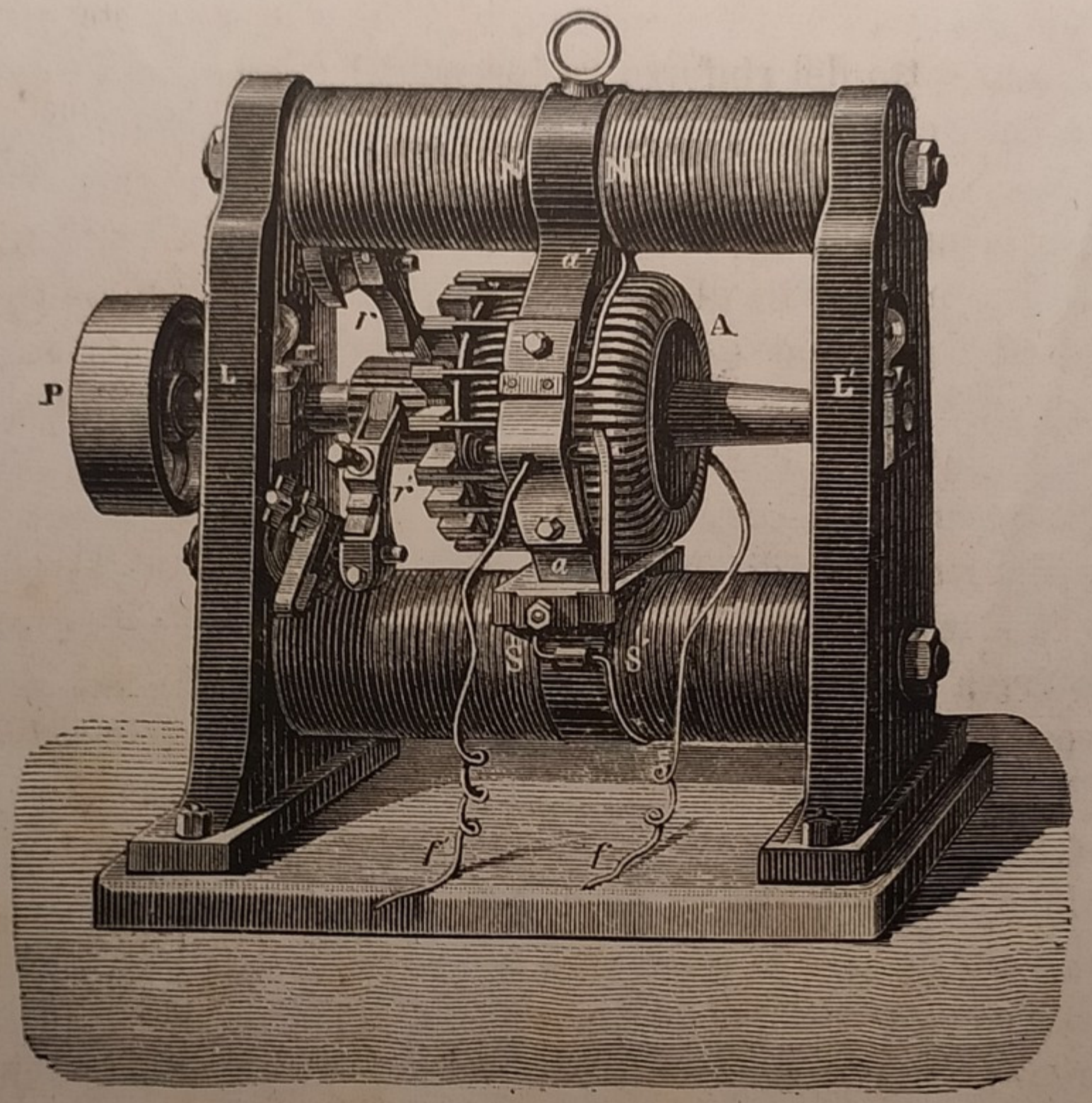


Fig. 253.

lare nella spirale magnetizzante di essa la corrente stessa generata dall'induzione magnetoelettrica.

Dal fin qui detto appare quindi che in generale ogni dinamo comprende: un *induttore* costituito da una calamita o da un'elettrocalamita il cui scopo è quello di generare un forte campo magnetico, un *indotto* costituito da un sistema di conduttori nei quali per il loro spostamento nel campo magnetico si svolgono correnti indotte, e infine un *collettore* destinato a raccogliere le correnti.

9. Forza elettromotrice della dinamo. — La forza elettromotrice di una macchina ad armatura indotta del tipo ora descritto è proporzionale al numero delle spire dell'armatura, alla velocità del moto di rotazione di questa ed all'intensità del campo magnetico inducente. Quindi se la intensità del campo fosse costante (come con molta approssimazione si verificherebbe nelle macchine magneto-elettriche nelle quali il campo è prodotto da calamite permanenti) basterebbe allora mantenere costante la velocità di rotazione della armatura indotta affinchè la macchina si comportasse come una pila; e se si facesse poi variare la detta velocità si avrebbero a questa proporzionali e la forza elettromotrice e la intensità della corrente. Ma trattandosi di dinamo autoeccitatrici l'intensità del campo magnetico non si mantiene costante poichè cresce colla intensità della corrente magnetizzante, la quale poi a sua volta dipende anche dalla resistenza del circuito esterno alla dinamo; quindi la forza elettromotrice non sarà semplicemente proporzionale alla velocità dell'armatura indotta, ma crescerà in una ragione maggiore (a meno che col movimento della macchina non siasi ottenuta la saturazione magnetica nelle elettrocalamite inducenti).

10. Eccitazione in serie od in derivazione per le dinamo autoeccitatrici. — Per rendere autoeccitatrice una dinamo si presentano due modi. Il 1° consiste nel far passare nelle spirali delle elettrocalamite inducenti tutta la corrente indotta nell'armatura, inserendo cioè il circuito degli induttori in serie col circuito principale; allora la macchina dicesi eccitata in *serie*, e per ogni aumento della resistenza del circuito esterno si ha una diminuzione di forza elettromotrice, perchè diminuisce la corrente magnetizzante.

Nel 2° modo si dispone il circuito dell'induttore in derivazione dal circuito dell'indotto, cioè si divide la corrente nel punto in cui lascia il circuito indotto in due rami, di cui uno va all'elettrocalamita e l'altro al circuito esterno; una macchina così costruita chiamasi eccitata in *derivazione;* si sa (pag. 377) che nelle ramificazioni la corrente si divide in modo che l'intensità della medesima nei diversi rami sia in ragione inversa della loro resistenza; perciò, in tale caso, per ogni aumento della resistenza del circuito esterno cresce la corrente magnetizzante e con essa la forza elettromotrice.

Tanto nel caso della dinamo in *serie* quanto in quello della dinamo in *derivazione* importa di spendere nella eccitazione appena quel tanto di energia che essa richiede; per cui nella dinamo in *serie*, nella quale la spirale dell'induttore è percorsa dall'intiera corrente, la resistenza della spirale stessa deve essere piccola, mentre invece nella dinamo in *derivazione* deve essere grande per non derivare una corrente soverchia dall'armatura indotta.

Questi due modi di eccitazione possono poi anche combinarsi insieme affine di mantenere costante la forza elettromotrice se anche avvengono variazioni della resistenza del circuito esterno; a tale scopo sui nuclei delle elettrocalamite inducenti si avvolgono due spirali distinte, una di piccola resistenza in serie col conduttore esterno, e l'altra di grande resistenza in derivazione; si ha allora la dinamo ad eccitazione *composita*, o *compound* nella quale le due spirali si possono proporzionare in modo che, per una

data velocità di rotazione dell'armatura indotta, la forza elettromotrice risulti quasi indipendente dalla resistenza del circuito esterno.

11. Dinamo bipolari e multipolari. — Perchè nascano le correnti di induzione occorre che le spire dell'indotto passino per parti del campo magnetico nelle quali la forza magnetica varia rapidamente di intensità o di senso, il che si ottiene bene col farle passare alternativamente da un polo magnetico ad un altro dell'induttore. Ora, quando le dinamo hanno grandi dimensioni, per raggiuugere ciò colla necessaria rapidità bisognerebbe far ruotare il circuito indotto con velocità pericolosa per la grande forza centrifuga che si svilupperebbe; perciò mentre le piccole dinamo possono essere bipolari, quelle grandi vengono costruite con parecchie coppie di poli, i quali si succedono in modo che le spire dell' indotto passino da un polo nord ad un polo sud, da questo di nuovo ad uno nord, e così di seguito, d'onde la denominazione: *multipolari.*

12. Dinamo a correnti alternate. — Rispetto alla direzione della corrente che le dinamo somministrano si possono distinguere in dinamo a *corrente continua* (se la corrente percorre il circuito esterno sempre nel medesimo verso) od a *correnti alternate* (se la corrente percorre il circuito esterno alternativamente in versi contrarii).

Queste ultime, dette anche *alternatori,* si distinguono poi a loro volta in dinamo *monofasiche* e *polifasiche.*

Nelle monofasiche l'intensità della corrente da un valore nullo acquista un valore crescente fino ad un massimo, poi decresce fino a zero, per ricominciare la stessa successione di fasi, ma in senso inverso, permodochè nel circuito nascono alternativamente correnti contrarie. Si dice *periodo* il tempo che separa due fasi consecutive nelle quali l'intensità presenta la stessa grandezza e la stessa direzione.

Le macchine di Clarke (pag. 435) e di Siemens (pag. 437), senza il commutatore, con un'elettrocalamita invece della calamita permanente, sarebbero un modello di tali dinamo. In pratica però oggidì, per avere una *frequenza* sufficiente (cioè un numero di alternanze sufficiente al secondo), si forma l'indotto con parecchi rocchetti che si fanno rapidamente passare per campi magnetici alternatamente opposti. Di regola gli alternatori sono ad *eccitazione separata*, ossia gli induttori sono eccitati da una dinamo a corrente continua indipendente, detta la *eccitatrice*, o da una batteria di accumulatori.

Le dinamo polifasiche forniscono non uno solo, ma più sistemi contemporanei di correnti alternanti uguali, aventi tutte lo stesso periodo, cioè ugual durata per un ciclo intero di fasi, ma così distribuite che il periodo di ciascun sistema cominci ad $^1/_2$, ad $^1/_3$, ad $^1/_4$ del periodo corrispondente al sistema antecedente. Queste dinamo sono in generale formate da due o più avvolgimenti distinti le cui parti si seguono sull'armatura in modo da trovarsi le une rispetto alle altre in ritardo, nel passare per un punto qualunque del campo induttore. In pratica il numero delle correnti alternanti è due o tre; cosicchè i sistemi pratici si riducono al *bifasico* costituito da due correnti colle fasi spostate di un quarto di periodo l'una rispetto all'altra,

ed al *trifasico* costituito da tre correnti le cui fasi differiscono di un terzo del periodo dall'una all'altra.

Gli alternatori sono semplici nella loro costruzione, facili a montarsi e ripararsi, e presentano sulle dinamo a correnti continue grandi vantaggi quando si tratta di produrre forze elettromotrici molto elevate.

13. Cenni su alcuni apparecchi di misura adoperati in servizio alle dinamo. — Per le diverse misure che continuamente occorre di eseguire e per il buon funzionamento di un sistema di distribuzione dell'energia elettrica generata dalle dinamo sono di uso estesissimo nella pratica alcuni istrumenti di grande utilità dei quali sarà bene indicare almeno lo scopo.

1° *Amperometri.* — Sono galvanometri speciali graduati in *Ampère* (pag. 375); in generale l'intensità della corrente è data, o dalla deviazione prodotta in un ago calamitato liberamente oscillante ma obbligato (nello stato di riposo) ad una posizione fissa da due calamite permanenti, o dallo spostamento di una lamina di ferro dolce di forma speciale, opportunamente mobile nel cavo di un rocchetto, od infine dell'attrazione di un nucleo di ferro (munito di spirale antagonista) in un solenoide.

2° *Elettrodinamometri.* — Sono fondati sulla azione mutua delle correnti (pag. 394) e si compongono di due rocchetti percorsi dalla corrente da misurare e disposti ad angolo retto; il primo è fisso ed il secondo (mobile) tende ad avvicinarglisi; come forza antagonista in generale serve la torsione della sospensione. Siccome in questi istrumenti non vi sono calamite ed il senso della corrente, se cambia nel circuito, viene a cambiarsi contemporaneamente nei due rocchetti, così essi si prestano bene a misurare l'intensità delle correnti alternanti.

3° *Coulombometri.* — Servono a misurare le quantità di elettricità somministrate agli utenti; possono essere dei voltametri speciali a solfato di zinco, ma oggidì sono sostituiti generalmente da contatori il cui modo di funzionare si fonda sui fenomeni elettro-magnetici.

4° *Elettrometri.* — Servono a misure di differenze di potenziale e sono fondati sulla attrazione o ripulsione statica esercitata fra due corpi a distanza variabile che vengono messi rispettivamente in comunicazione coi punti di cui si cerca la differenza di potenziali.

5° *Voltmetri.* — Anche questi istrumenti servono a misurare le differenze di potenziale, e quindi le forze elettromotrici, e sono assai adoperati nella pratica sotto forma di galvanometri speciali a filo fine e lungo (quindi resistente) che si pongono in derivazione sui punti dei quali si vuole la differenza di potenziale.

6° Vi sono anche amperometri e voltmetri industriali basati sull'effetto Joule (pag. 378), ossia sulla trasformazione dell'energia elettrica in calore; possono essere adoperati indifferentemente per correnti continue od alternate e si fondano direttamente sulla dilatazione prodotta, in un filo di lega metallica, dal riscaldamento provocato dalla corrente.

7° *Wattmetro.* — Serve a misurare la potenza elettrica attiva in una data parte di un circuito ed è una modificazione dell'elettrodinamometro.

8° *Reostati.* — Sono apparecchi che servono nelle misure di resistenza elettrica, costituendo resistenze campioni a cui riferirsi. Sono composti da rocchetti di filo sottile di argentana, isolati, e di resistenza perfettamente conosciuta, e così disposti da potere a volontà essere introdotti lestamente in un circuito o levati. Molto spesso si adoperano nella pratica industriale reostati a filo continuo per poter modificare gradualmente la resistenza di un circuito, o reostati ad eliche metalliche per mantenere costante una corrente compensando i cambiamenti di resistenza che possono verificarsi nel suo circuito.

§ 84. — Applicazioni principali delle dinamo elettriche.

1. Applicazioni in generale. — Le applicazioni delle dinamo sono molteplici; le più importanti riguardano le officine di elettro-metallurgia, la carica degli accumulatori, la saldatura elettrica, i forni elettrici, le stufe e le cucine elettriche, l'illuminazione elettrica, la riversibilità della dinamo e la trasmissione del lavoro meccanico a distanza, le tramvie elettriche.

2. Elettro-metallurgia. — Questa denominazione è riservata all'insieme dei procedimenti che occorrono per la riduzione e la lavorazione dei metalli per mezzo dell'elettricità.

Nella *elettro-metallurgia per via umida* i metalli vengono trattati elettroliticamente in dissoluzione salina; si hanno così la galvanostegia, la galvanoplastica, il raffinamento dei metalli, l'estrazione dei metalli dai loro minerali. L'affinatura del rame ha per iscopo di estrarre il metallo allo stato di purezza da quello greggio del commercio; il rame greggio da affinare si fonde in lastre che vengono poi usate come anodo in un bagno da galvanostegia a solfato di rame, ove al catodo si raccoglie infine il rame chimicamente puro.

Con procedimenti simili si ottiene l'affinatura del piombo.

Quando poi sia possibile di fondere le materie da trattarsi e di impartire loro una sufficiente conduttività elettrica, la riduzione si può anche ottenere *per via secca*, usando elettrodi di carbone e combinando il lavoro elettrolitico colla fusione ottenuta colla elevatissima temperatura dell'arco voltaico (forni elettrici). È così che oggidì si ricava l'alluminio dal corindone, dalla criolite e dall'argilla, e si prepara il bronzo di alluminio.

3. Reversibilità delle dinamo. — Se si congiungono con reofori le spazzole di una dinamo a corrente continua con quelle di un' altra, mettendo in azione l'una di esse il circuito indotto dall' altra si mette spontaneamente in rotazione. Questo fatto scoperto casualmente da Fontaine (all'Esposizione di Vienna nel 1873) dimostra che le dinamo sono macchine *invertibili*, cioè mentre esse forniscono correnti elettriche quando loro si comunica energia meccanica, inversamente somministrano energia meccanica quando loro si comunica energia sotto forma di corrente elettrica.

4. Motori a corrente continua. — Per intendere come, somministrando ad una dinamo della energia elettrica sotto forma di corrente, essa possa funzionare da motore, considereremo, come esempio, la dinamo coll'indotto della forma già descritta al n. 6 pag. 437. Un anello simile a quello allora descritto è stato inventato nel 1861 dal prof. Pacinotti di Pisa e da lui applicato ad un suo motore elettromagnetico (V. fig. 252 nella quale si deve supporre l'anello di ferro dolce rivestito di tutti i suoi rocchetti come nella fig. 251, si deve supporre tolta la freccia in vicinanza del rocchetto r, e levate le lettere s, s', n, n'). Se le spazzole si mettono in comunicazione coi poli di una pila la corrente di questa si divide in due rami magnetizzando così ciascuna metà dell'anello in modo da formarne due elettrocalamite semicircolari con i poli omonimi affacciati; se, per esempio, in p' si formano due poli nord, si formeranno in p due poli sud; ne viene allora che i poli N ed S, attirando i poli eteronimi e respingendo gli omonimi determinatisi nell'anello, lo faranno ruotare (nel nostro caso contrariamente agli indici di un orologio); e la rotazione continuerà uniformemente poichè durante questa, passando di continuo le successive strisce radiali molto vicine in contatto colle spazzole, persisterà la polarità dell'anello negli stessi punti relativamente alla calamita fissa inducente, ed il circuito elettrico non verrà mai interrotto.

5. Motori a correnti alternanti. — Anche la maggior parte delle macchine a correnti alternanti possono indifferentemente essere impiegate come generatrici o come motori. A questo riguardo si distinguono:

1° *Motori monofasici sincroni.* — In massima questi motori non differiscono da una dinamo a corrente alternata, eccitata da una corrente continua, cioè gli induttori sono eccitati da una corrente continua indipendente mentre nell'armatura indotta arriva una corrente alternante. Presentano l'inconveniente che non si possono avviare da sè, che non vi si può stabilire il carico se non dopo aver comunicato all'armatura indotta una velocità molto prossima a quella dell'alternatore che funziona da dinamo generatrice, e si fermano se, per un repentino aumento di lavoro resistente, il loro moto si rallenta portandoli fuori di fase; tali motori devono essere *sincronici*, chiamandosi appunto *sincronismo* l'accordo perfetto delle fasi nelle parti

delle armature della dinamo generatrice e del motore che trascorrono al medesimo istante posizioni omologhe dei rispettivi campi magnetici.

2° *Motori monofasici asincroni.* — In questi motori la corrente alternata della dinamo generatrice serve anche ad eccitarne l'induttore; hanno su quelli antecedentemente accennati il vantaggio che possono agire a qualunque velocità (donde il loro nome di *asincroni*) e possono entrare in moto spontaneamente senza alcun bisogno di avviamento ottenuto a mano od in altro modo; ma a fronte di tale vantaggio si contrappone uno scarso rendimento provocato specialmente da fenomeni di autoinduzione che qui non si possono spiegare.

3° *Motori polifasici.* — I motori alternanti monofasici non possono competere, per le ragioni sovra esposte, coi motori a corrente continua, nonostante che per impianti fra due stazioni molto lontane sia preferibile (come appresso vedremo) l'impiego delle correnti alternate; ma li superano di gran lunga i motori polifasici fondati sulla scoperta di Galileo Ferraris: « che per mezzo di due correnti alternate uguali disposte ad angolo retto fra loro, di ugual periodo ma in fase spostata di 90°, si ottiene all'incrociamento un campo magnetico dipendente in ogni istante dalla composizione (secondo il principio del parallelogrammo) delle due forze magnetomotrici dovute alle due correnti, cioè si ottiene un campo *magnetico rotante* nel quale un disco di rame od una *bobina* col filo chiuso su sè stesso, girevoli sul loro asse, si mettono in moto per effetto di correnti in essi indotte ». Dal motore Ferraris presero origine poi tutti gli altri che ora sono entrati estesamente nel campo della pratica e della industria, grazie specialmente alle seguenti loro proprietà, di avviarsi da sè anche sotto carico, di essere asincroni e di avere un rendimento elevato.

6. Trasporto dell'energia a distanza. — Quando si pensa alla immensa mole di lavoro che possono eseguire le cascate d'acqua che abbondano nelle montagne, le correnti dei fiumi, i dislivelli periodici dei mari (alte e basse maree), i venti, le energie chimiche immagazzinate nelle miniere di carboni fossili, nelle torbiere, nelle solfatare, ecc., lavoro che oggidì è perduto, ogni filantropo non può a meno che fare voti perchè la scienza riesca presto ad utilizzarlo in favore dell'umanità. Ora, la corrente elettrica somministra appunto il mezzo migliore per raggiungere il detto scopo, perchè quelle energie possono mettere in azione delle dinamo nei luoghi in cui esse hanno sede, e le correnti così sviluppate si possono mediante fili condurre nei luoghi in cui conviene utilizzarle, sia per l'illuminazione elettrica, sia per operazioni elettrochimiche, sia per produrre lavoro meccanico. Naturalmente che una parte di quell'energia va perduta per la

via, sia perchè si trasforma in calore riscaldando i fili, sia per dispersione, ecc., ma se ne potrà sempre utilizzare una parte conveniente.

7. Trasformatori. — Come la quantità di lavoro che può eseguire una corrente idraulica dipende dalla quantità dell'acqua e dalla altezza della sua caduta, così l'energia d'una corrente elettrica dipende dalla sua intensità e dalla sua caduta di livello e rimane costante se, diminuendo uno dei fattori, cresce nella stessa misura l'altro fattore. Ora la teoria dimostra e l'esperienza conferma che per il trasporto dell'energia elettrica si richiedono correnti di piccola intensità e grande tensione, perchè col diminuire dell'intensità diminuisce il calore sviluppato nel conduttore, e quindi la perdita di energia della corrente.

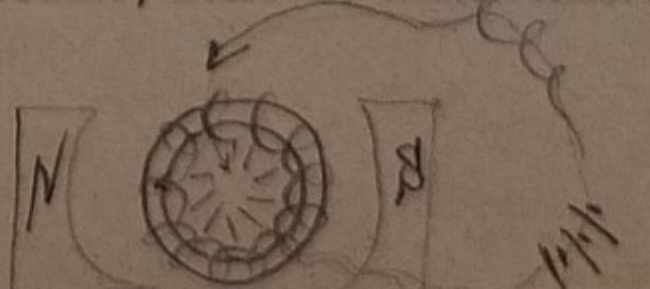
Ma la costruzione delle dinamo che danno correnti di direzione costante con alta tensione presenta grandi difficoltà, mentre ciò non è per le dinamo a correnti alternative. Quindi pel trasporto dell'energia si usano dinamo che danno correnti alternative di grande tensione.

Nel luogo poi in cui si fa uso della energia della corrente elettrica si richiede generalmente una corrente di grande intensità e di debole tensione anche per evitare i pericoli delle grandi tensioni. Perciò la corrente alternativa ad alto potenziale che arriva da lontano viene trasformata in una corrente a potenziale basso e di maggiore intensità, cercando naturalmente che in tale trasformazione venga dissipato il meno possibile di energia, ossia cercando che nel variare i fattori della potenza elettrica (intensità e tensione) il loro prodotto rimanga costante.

Tale trasformazione si ottiene mediante i *trasformatori* (*trasformatori riduttori del potenziale*) che sono apparecchi i quali agiscono in modo reciproco a quello degli ordinari rocchetti di induzione (pag. 418); essi si introducono tra la conduttura e gli apparati diversi che devono usufruire della corrente che arriva da lontano, ed hanno invertite le condizioni delle loro eliche (inducente ed indotta) ossia l'elica primaria è di filo sottile e di numerose spire e la secondaria di filo grosso e di poche spire.

8. Tramvie elettriche. — Una applicazione importante della reciproca trasformazione dell'energia meccanica in elettrica è la locomozione elettrica, la quale è oggidì molto usata specialmente nelle tramvie cittadine.

Sotto la carrozza tramviaria sono in generale disposti due motori elettrici le cui armature vengono poste in rotazione da una corrente elettrica e trasmettono il moto alle ruote motrici della carrozza; detti motori dànno luogo ad un movimento rotatorio continuo senza punti morti nè scosse, sono di assai facile



avviamento, si prestano bene alle variabili condizioni della carrozza e della linea, possono arrestarsi quasi istantaneamente, possono anche retrocedere e sono atti a superare (contrariamente agli altri mezzi di locomozione) forti curve e pendenze. In generale questi motori delle tramvie sono dinamo a corrente continua poste in derivazione sulla conduttura. La conduttura nel massimo numero dei casi è aerea, di rado sotterranea (perchè assai più costosa e più soggetta a guasti). Il filo aereo (in comunicazione col polo positivo della dinamo situata in una officina speciale) è teso a circa 6 metri da terra parallelamente alla linea mediana del binario; e per mantenere durante la corsa i motori elettrici della tramvia in permanente contatto col detto filo è disposto un contatto mobile che può avere la forma detta *trolley* (carrucola) o quella detta *lira*. La prima consiste in una carrucola (*trolley*) metallica fissata all'estremo di una antenna mobile sul tetto della carrozza e suscettibile di essere variamente inclinata in modo che la carrucola rimanga in contatto col filo aereo; un reoforo collegato alla carrucola serve a trasmettere ai motori la corrente, donde passa alle ruote, alle rotaie, al suolo ed al polo negativo della dinamo generatrice. Il contatto a *lira* è costituito da una sbarra di metallo opportunamente ricurva che nella parte superiore è continuamente in contatto col filo aereo.

Se poi il conduttore della corrente è sotterraneo allora la sua presa viene effettuata con un contatto fissato sotto la carrozza tramviaria, contatto disposto in modo da potere penetrare nel canale, che protegge ed isola il conduttore, attraverso ad una stretta fenditura longitudinale.

Sarebbe bene, per l'economia dell'impianto della linea, poter sopprimere la conduttura, e servirsi della dinamo generatrice all'officina centrale soltanto per caricare batterie di accumulatori, che possono venire collocate nella carrozza tramviaria e possono colla loro corrente di scarica mettere in moto i motori elettrici; ma pur troppo un ostacolo insormontabile al diffondersi di questo sistema di trazione elettrica, specialmente per linee lunghe ed a pendenze, è il grande peso degli accumulatori e quindi l'eccessivo aumento del peso morto da trasportare.

§ 85. — Il telefono e il microfono.

1. Il **telefono** di Graham Bell (1876) è un apparecchio col quale si trasmettono i suoni a distanza. Esso è rappresentato nella fig. 254, in sezione (a sinistra) e in prospettiva (a destra).

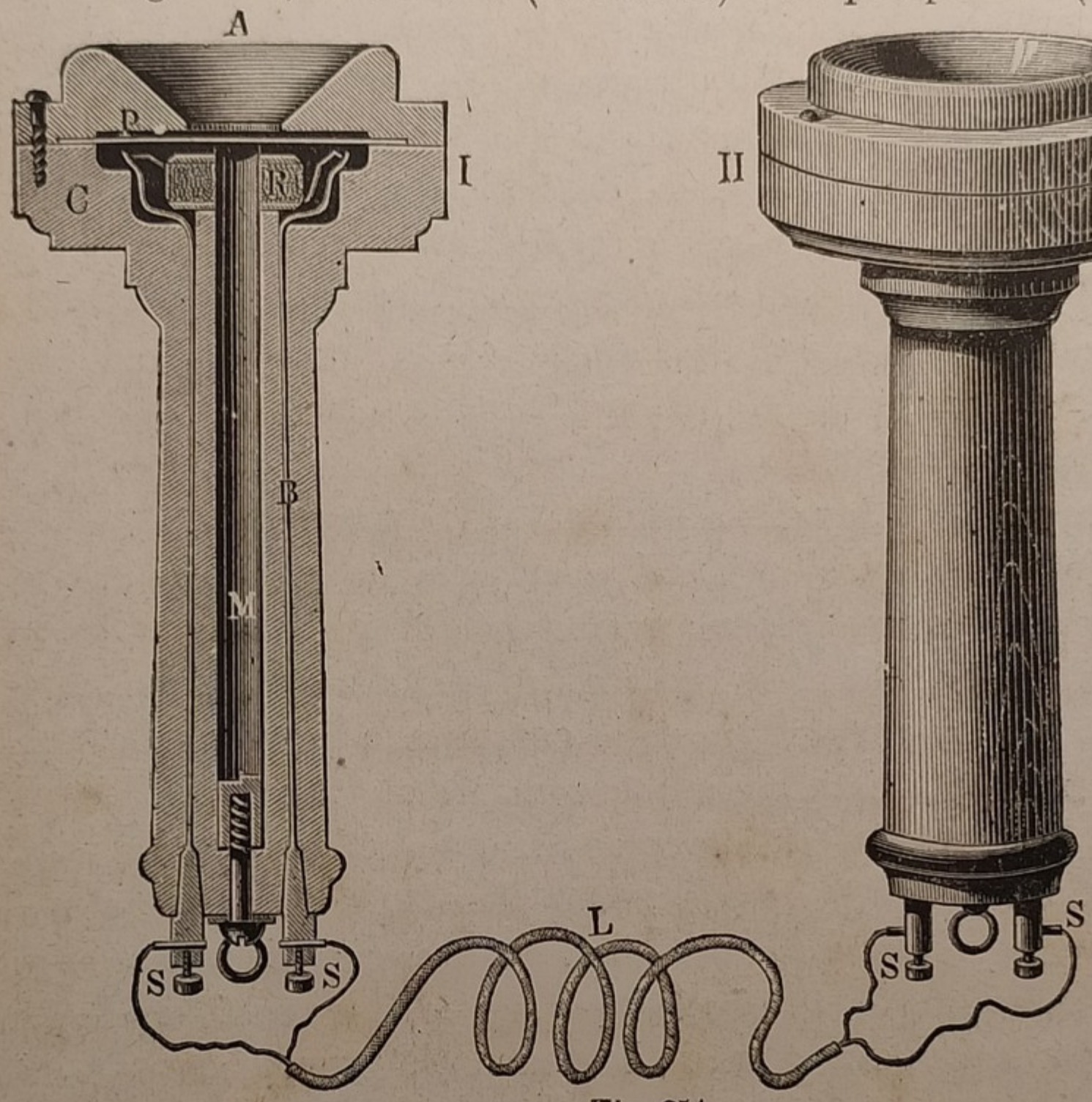


Fig. 254

Consta di una calamita rettilinea (M) collocata in un tubo di legno, o di ebanite, uno dei cui poli è circondato da un piccolo rocchetto (R), o bobina, attorno a cui è avvolto un sottile filo di rame isolato, i capi del quale sono congiunti a due viti di chiusura (SS), mentre una sottile lastrina di ferro dolce (P) è fissata pel suo contorno fra i due orli di una specie di scatola di legno, o di ebanite che è unita al tubo ed è superiormente cava a guisa di imbuto. Detta lastrina è vicinissima al polo della calamita e il suo piano è perpendicolare a questa. Sotto alla sbarra magne-

tizzata (M) evvi una vite che serve a regolare la distanza fra il polo della calamita e la lamina vibrante.

Lo stesso apparecchio serve come *trasmettitore* e come *ricevitore* del suono. Per trasmettere la parola si parla tenendo la bocca a poca distanza dall'imbuto dell'apparecchio; e per ricevere il suono si applica l'imbuto all'orecchio.

Gli apparecchi delle due stazioni si mettono in comunicazione fra loro, o mediante due fili attaccati alle due viti di chiusura ed isolati, o anche mediante un filo solo, ma allora l'altra vite si pone in comunicazione col suolo. Però l'impiego di un filo solo presenta l'inconveniente che se esso è vicino ad altri fili, come quelli telegrafici, le correnti che istantaneamente percorrono questi producono correnti di induzione nel filo del telefono, le quali generano rumori nell'apparecchio che nuociono alla trasmissione della parola.

I suoni prodotti davanti all'imbuto dell'apparecchio trasmettitore ne fanno vibrare la lastrina di ferro, la quale perciò si avvicina e si allontana alternativamente dal polo magnetico a cui sta di fronte. Queste variazioni di distanza della lastrina modificano lo stato magnetico della calamita, ad ogni variazione del quale nasce per induzione una corrente elettrica nel filo del rocchetto (pag. 414). Queste correnti, quantunque debolissime, si propagano pel filo di linea e vanno al suolo della stazione ricevente passando nel rocchetto dell'apparecchio ricevitore, nel quale modificano parimente, collo stesso ritmo, il magnetismo della calamita, per cui questa attrae più o meno la propria lastrina di ferro che le fa da àncora, in guisa che essa vibra nello stesso modo della lastrina dell'apparecchio trasmettitore e riproduce il suono.

2. Il **microfono** di Hughes (1878) serve a rendere percettibili debolissimi suoni. Consiste in un fuso di carbone (C. fig. 255) buon conduttore della elettricità, semplicemente appoggiato, e non fissato, in due fori di due verghette orizzontali (A, B), pure di carbone, sostenute da un'assicella verticale di abete, infissa in un'altra orizzontale.

Le due verghette orizzontali di carbone sono in comunicazione con due viti di chiusura a cui si attaccano due reofori, uno dei quali è congiunto ad un polo di una pila (P), e l'altro ad

un telefono, mentre un terzo reoforo mette in comunicazione il telefono con l'altro polo della pila, permodochè la corrente di questa viene chiusa mediante i carboni del microfono e il telefono.

Se si pone sulla tavoletta orizzontale un orologio le trepidazioni che questo produce nelle due tavolette e nel sistema dei carboni producono variazioni di contatto del fuso coi due carboni

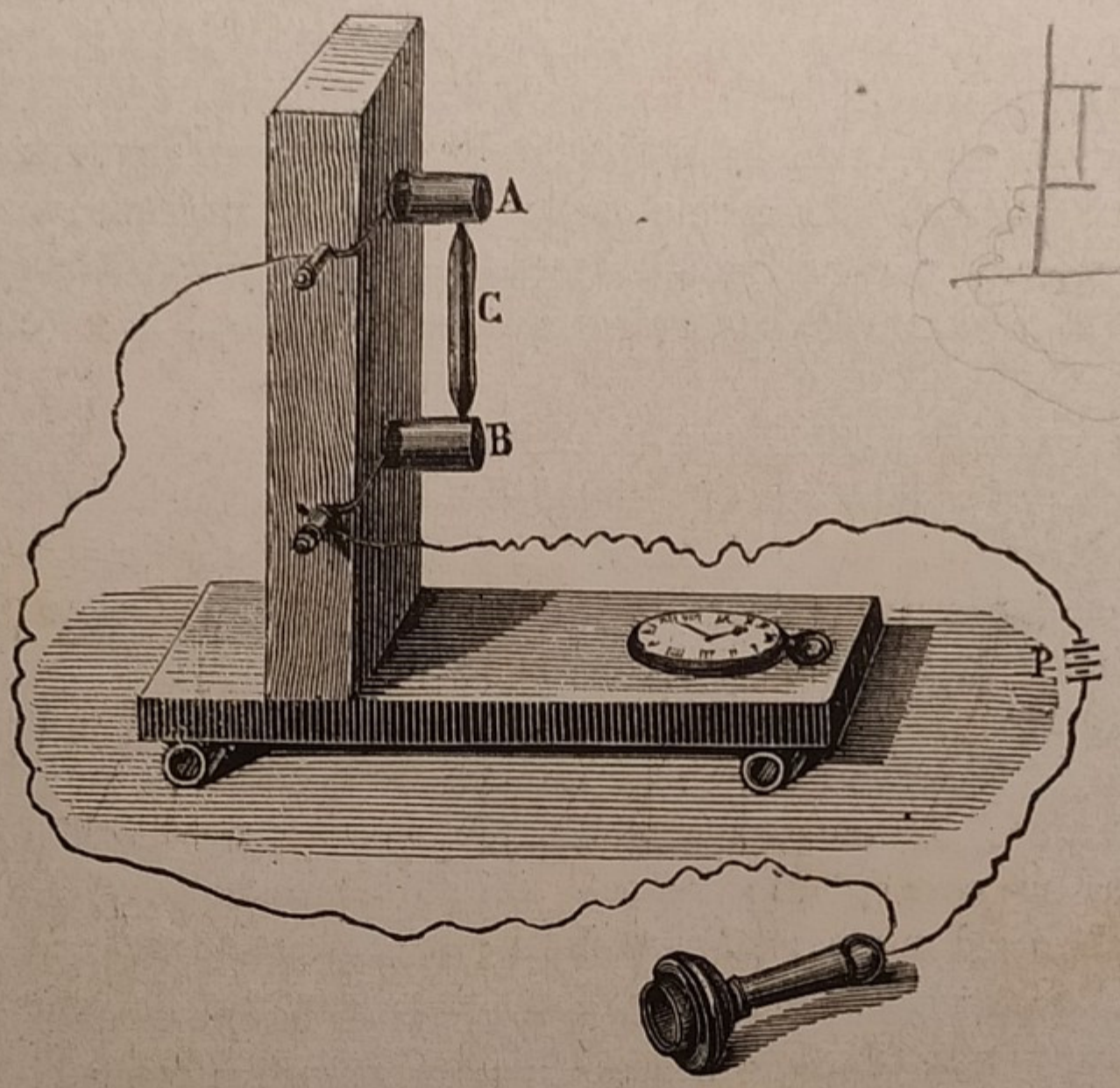


Fig. 255.

che lo sostengono, e quindi variazioni di resistenza del circuito, e di intensità nella corrente della pila, le quali determinano oscillazioni nella lastrina del telefono, per cui tenendo questo all'orecchio si ode benissimo il *tic tac* dell' oriuolo a grande distanza.

Parlando poi in vicinanza delle due tavolette le oscillazioni di queste e del fuso di carbone prodotte dalle onde sonore fanno pure sentire il suono nel telefono, perchè producono variazioni periodiche di contatto, e quindi della resistenza e dell'intensità della corrente della pila, ed infine corrispondenti oscillazioni della laminetta di ferro dolce del telefono.

Il microfono ha ricevuto forme svariatissime, ma tutte fondate sulle variazioni di resistenza alla corrente elettrica prodotte dalle variazioni di contatto.

3. Linee telefoniche. — Con due soli telefoni vi sarebbe l'inconveniente di dovere continuamente trasportare l'apparecchio dalla bocca, per parlare, all'orecchio, per udire, il che produce confusione, perchè non si sa quando la persona lontana principia e finisce il discorso. Perciò sulle linee telefoniche il telefono è sempre associato al microfono. Si parla in presenza di questo tenendo sempre il telefono all'orecchio.

Di più, quando la lunghezza della linea è un poco rilevante, se la corrente che proviene dalla pila P (fig. 255) e la quale passa nel microfono della stazione mittente andasse direttamente nel filo di linea, per la grande resistenza di questo (la quale cresce colla lunghezza del filo) le sue variazioni sarebbero insensibili nel telefono ricevitore. Per riparare a tale difetto si fa passare la corrente della pila della stazione mittente dapprima pel microfono e poi pel filo grosso di un rocchetto d'induzione il cui filo sottile è in comunicazione per un capo col filo di linea e per l'altro col suolo.

Così le variazioni di intensità della corrente della stazione mittente promosse dal microfono quando si parla destano per induzione correnti di maggior tensione di quelle della pila nel filo sottile del rocchetto d'induzione, le quali possono percorrere linee più lunghe. Pel ritorno, come nei telegrafi, basta la comunicazione col suolo.

Pertanto in ogni stazione telefonica vi è una pila di alcune coppie Leclanché (pag. 370) il cui circuito è chiuso mediante il microfono e il rocchetto induttore di un rocchetto d'induzione, mentre il telefono di ogni stazione ha un capo del filo del suo piccolo rocchetto congiunto col filo di linea e l'altro col suolo mediante il filo del rocchetto indotto. Per le variazioni della corrente nel circuito induttore, prodotte dal microfono, vengono generate correnti di induzione nel rocchetto indotto, le quali fanno funzionare il telefono lontano.

Il microfono, come si vede, fa così l'ufficio di soccorritore (pag. 407), il quale permette di sostituire alle deboli correnti telefoniche quelle più energiche di una pila collocata nella stazione mittente, mentre il rocchetto fa l'ufficio di trasformatore (pag. 449), il quale sostituisce alle correnti di debole tensione della pila della stazione mittente delle correnti di induzione le quali, avendo maggiore tensione, possono percorrere linee più lunghe.

Ogni abbonato al telefono è in comunicazione coll'ufficio centrale mediante una linea propria. Per conversare con un altro abbonato egli gira una manovella che fa agire una piccola macchina magnetoelettrica (pag. 435) la quale somministra una corrente elettrica che mette in azione una soneria all'ufficio centrale, e poi porta il telefono all'orecchio. Nel detto ufficio dal numero apparso nel quadro della soneria l'impiegato conosce donde viene la richiesta e interroga il richiedente con chi desidera la comunicazione. Avuta la risposta egli, mediante un commutatore, isola dalla terra e mette in comunicazione fra loro le linee dei due corrispondenti. Finito il colloquio, del che il richiedente dà avviso alla stazione centrale mediante la soneria, le due linee vengono rimesse a terra.

4. Trasmettitore di Blake. — Vi sono diverse forme di trasmettitori telefonici. Quello oggidì adottato dalla Compagnia internazionale dei telefoni Bell nelle sue reti tefefoniche in America ed Europa è detto di Blake ed è pure il più usato in Italia. Consiste in una cassetta prismatica nella cui parete anteriore vi è un'apertura conica al fondo della quale trovasi un diaframma che costituisce il microfono assieme con una pastiglia di carbone, un disco di rame su cui è fissata la pastiglia, una molla di acciaio e una punta di platino che forma il contatto col carbone. Al disopra del microfono vi è un rocchetto d'induzione il cui filo grosso è inserito nel circuito della pila assieme col microfono.

Ad un uncino che funziona come commutatore è appeso un telefono Bell che serve come ricevitore. Tale uncino, quando non si telefona, costituisce l'estremità del braccio di una leva che dal peso del telefono è tenuta abbassata dalla parte del detto uncino, e sollevata dall'altra, permodochè il circuito della pila non è chiuso. Invece quando si toglie il telefono dall'uncino la leva si innalza dalla parte di questo e si abbassa dall'altra, permodochè viene stabilito un contatto, che chiude il circuito della pila della stazione mittente mediante il microfono e il filo grosso del rocchetto, mentre il circuito del telefono è chiuso nelle due stazioni mediante il filo di linea, il filo fino del rocchetto indotto e la terra.

§ 86. — Elettricità atmosferica.

1. Analogie tra il fulmine e le scariche elettriche. — Le nubi temporalesche sono fortemente elettrizzate, siccome dimostrano le poderose scariche elettriche che partono dalle medesime le quali costituiscono il *fulmine*. Questo poi ha frequentemente la forma a zig-zag come le lunghe scintille elettriche artificiali; colpisce di preferenza i corpi più vicini, cioè più elevati e acuminati; segue di preferenza i buoni conduttori, siccome le masse metalliche; accende i corpi combustibili ma, come la scarica elettrica, solo quando viene ritardato nella sua propagazione da cattivi conduttori; fonde i metalli, e perfino le roccie silicee (folgoriti), lacera i corpi cattivi conduttori; scortica gli alberi, probabilmente perchè riduce in vapore l'umidità fra il legno e la corteccia; uccide gli animali, modifica il magnetismo delle calamite, devia gli aghi magnetici come la corrente elettrica, e come le scintille sviluppa nell'aria l'odore dell'ozono.

Codeste analogie fra le apparenze e gli effetti del fulmine e quelli delle poderose scariche delle batterie elettriche avevano già indotto a congetturare: *le nubi temporalesche essere fortemente elettrizzate; il fulmine: una poderosa scarica elettrica che avviene fra nube e nube, o fra queste e la terra; il lampo: una grande scintilla; il tuono: il fragore che quella accompagna.*

Tale congettura venne confermata nel 1752 da una celebre esperienza di Franklin. Nell'occasione di un temporale egli si recò con suo figlio fuori

di Filadelfia, e fece salire un drago, o aquilone, come quello dei ragazzi, ma fatto con tela, perchè non venisse lacerato dall'acqua, e munito di una punta metallica; all'estremità inferiore del filo di canapa con cui lo tratteneva attaccò una chiave, e a questa una funicella di seta che legò ad un albero per isolare il tutto. Dapprima non ottenne alcuna scintilla dalla chiave, e cominciava già a disperare del risultato della sua esperienza ma poi quando cominciò a piovere e il filo divenne umido e più conduttore la chiave gli diede la sospirata scintilla.

La nube elettrizzata elettrizzava per induzione il conduttore isolato costituito dal drago, dalla funicella e dalla chiave, come nell'esperienza del cilindro di ottone isolato che si avvicina ad un corpo elettrizzato (pag. 292). La chiave trovandosi all'estremità del conduttore più lontana dalla nube acquistava la carica elettrica omonima a quella, e così dava la scintilla.

Nell'anno seguente Franklin collocò nella sua casa un'alta ed isolata spranga metallica, e pose la sua estremità inferiore in comunicazione conduttrice con uno scampanìo elettrico, che sonava ogniqualvolta l'elettricità indotta nella verga metallica era abbastanza forte.

Per una potente scarica partita da una simile isolata spranga Ruhmann nel 1753 perdette la vita a Pietroburgo.

Infine, il francese De Romas (1757) ripetè l'esperienza col drago, intrecciando la fune del medesimo con un filo metallico; nell'avvicinarsi di un temporale vennero da quello attratte pagliuzze alla distanza di 1 metro, e mediante un arco scaricatore, che egli teneva con manubrii isolanti ed in comunicazione col suolo, ne trasse scintille lunghe tre metri e clamorose come un colpo di pistola, una delle quali lo stramazzò al suolo.

2. Origine della elettricità nei temporali. — L'origine della enorme quantità di elettricità che si manifesta nei temporali non è ancora ben conosciuta; siccome essa si manifesta quasi repentinamente coll'abbondante condensazione del vapore acqueo che avviene nei temporali si è inclinati ad attribuirla a tale condensazione, ma non si è ancora potuto accertare il fatto sperimentalmente. Alcuni l'attribuiscono allo strofinamento dell'aria con le nubi violentemente agitate.

3. Lampo. — Il *lampo*, cioè la luce che accompagna la grande scarica elettrica costituente il fulmine, può avere diverse forme, che dipendono dalla tensione elettrica e dalle condizioni del mezzo in cui si manifesta. Le forme più comuni sono i *lampi lineari* e quelli *superficiali;* forme più rare sono il *fulmine globulare* e il *fulmine serpentino.*

I *lampi lineari* sono scintille a zig-zag, di color bianco violaceo, che soventi hanno la lunghezza di parecchi chilometri, accompagnati da tuono più o meno fragoroso e prolungato.

I *lampi superficiali* consistono in una luce rossiccia, quasi uniforme, senza limiti precisi, diffusa su gran tratto di cielo; essi sono accompagnati da un tuono mormoreggiante, e talvolta sono silenziosi.

I lampi superficiali e silenziosi si manifestano anche a cielo più o meno sereno, nelle notti della stagione più calda, e si dicono allora *lampi di*

calore. Alcuni li attribuiscono a lampi di nubi lontane, collocate sotto l'orizzonte, i quali si diffondono sopra questo. Altri ammettono, con maggior ragione, che siano semplicemente dovuti a scariche elettriche deboli, e silenziose, che avvengono nelle elevate regioni dell'atmosfera.

Infine, il fulmine globulare, che è assai raro, si manifesta in forma di un *globo di fuoco* con una coda, che si trasporta lentamente nell'aria finchè sparisce con violenta detonazione, in contatto di qualche corpo comunicante col suolo. La sua durata arriva fino a 10 secondi, mentre quella degli altri lampi è solo una frazione di secondo.

4. Tuono. — Il tuono, cioè il rumore che nasce dal violento scuotimento dell'aria attraversata dalla poderosa scarica elettrica del fulmine, si sente più o meno tardi dopo il lampo, poichè il suono si propaga molto più lentamente della luce; perciò quanto più tempo trascorre tra il lampo e il tuono, tanto più lunga è stata la via percorsa da questo, dal luogo della sua origine fino al nostro orecchio, e tanto più lontano è il luogo del fulmine. Allora percepiamo una serie di colpi seguentisi l'un l'altro, perchè arrivano all'orecchio successivamente per la loro diversa distanza, e anche per le successive riflessioni del suono sulle nubi, o sui monti.

Siccome la velocità del suono è di 340 *m.* per secondo alla temperatura di 15°, si giudica approssimativamente la distanza del fulmine da noi, moltiplicando detta velocità per il numero dei secondi che trascorrono tra l'istante in cui si vede il lampo e quello in cui si percepisce il tuono. Quanto minore è quella distanza tanto più il tuono è violento e breve perchè l'orecchio è pressochè egualmente distante dai diversi punti della scarica.

Il fulmine colpisce di preferenza gli oggetti che possono acquistare maggior carica elettrica per induzione delle nubi, cioè i corpi più conduttori, più elevati, di maggior massa, perchè la carica elettrica sviluppata per induzione è tanto maggiore quanto maggiore è la conduttività e la massa, e minore la distanza. E siccome, quando la scarica elettrica percorre un corpo, possono da questo partire delle scariche laterali, conviene tenersi lontani dai corpi che possono acquistare maggior carica elettrica, come gli alberi elevati e buoni conduttori, le grandi masse metalliche, ecc.

La morte prodotta dal fulmine è istantanea, e i colpiti non presentano traccie di lesioni interne; tutto al più qualche macchia o striscia sulla pelle; e quelli solo tramortiti non hanno alcun ricordo del fenomeno.

5. Contraccolpo. — Quando il fulmine cade su di un corpo può avvenire nei corpi circostanti più o meno lontani da quello una scarica elettrica, che dicesi *contraccolpo*, la quale può produrre effetti mortali negli uomini e negli animali.

Il fenomeno si spiega osservando che i corpi circostanti i quali erano elettrizzati per induzione dalla elettricità che diede luogo alla scarica costituente il fulmine ritornano repentinamente allo stato naturale, il che richiede nei medesimi un cangiamento di stato elettrico che costituisce una scarica.

Questo fenomeno si produce continuamente in vicinanza delle macchine elettriche quando si ricava da esse una scintilla. Allora gli elettroscopii vicini

manifestano il loro repentino ritorno nello stato naturale, perchè le loro foglie d'oro che si sono allontanate repentinamente si avvicinano.

6. Il parafulmine, inventato da Franklin (1753) per proteggere gli edifizii dalle scariche del fulmine, consisteva in una sbarra di ferro lunga circa 6 metri, terminata in alto da una punta di rame dorato, o di platino, dalla quale discendeva una fune di fili di rame o di ferro, pescante inferiormente nell'acqua del suolo, od almeno in terreno umido. Si attribuiva al medesimo una *duplice azione protettrice*. Dapprima quella di neutralizzare silenziosamente l'elettricità delle nubi mediante il soffio di elettricità contraria sviluppata da questa per induzione nella punta comunicante col suolo. Quando poi la carica delle nubi diveniva così grande da determinare una scarica violenta si ammetteva che questa dovesse colpire di preferenza il parafulmine per la sua tensione maggiore di quella degli altri punti dell'edifizio, e che dovesse in ogni caso scaricarsi nel suolo con cui la punta era in buona comunicazione.

Parafulmini moderni. — Il parafulmine Frankliniano, per quanto ben costrutto, non assicura sempre l'immunità degli edifizii, sovratutto perchè può dare luogo a scariche laterali pericolose. Perciò oggidì, dietro gli studi del Maxwell, del Lodge e del Murani, viene sostituito da un altro fondato su due principii di elettrostatica, cioè sul potere delle punte e sul fatto che un corpo situato nell'interno di un reticolato conduttore è protetto dalle scariche elettriche.

Per costituire questo reticolato si collocano lungo le costole, i cornicioni, gli spartiacque del tetto, gli spigoli dei muri e ogni altra parte sporgente dell'edifizio, dei conduttori metallici, che possono essere economicamente costituiti da nastri di ferro zincato per proteggerli dall'ossidazione. Questa rete a larghe maglie si munisce di parecchi mazzi di punte fra loro divergenti, e si stabilisce in più punti la comunicazione del reticolato col suolo mediante lastre di rame pescanti nell'acqua sotterranea, e ove questa manca si scavano fosse ampie e profonde ove il terreno è più umido e si circondano le lastre di rame con qualche quintale di coke. Ottima è la comunicazione colla terra per mezzo dei tubi del gas e dell'acqua potabile.

7. Elettricità dell'aria a ciel sereno. — Non solo durante i temporali vi è elettricità nell'aria, ma anche a cielo sereno; infatti se una spranga metallica elevata ed isolata viene inferiormente messa in comunicazione con un elettroscopio questo manifesta elettricità anche a ciel sereno.

Le misure fatte a questo proposito hanno messo fuori di dubbio che, salvo casi rarissimi, l'aria è elettrizzata positivamente e la terra è negativa rispetto alla sua atmosfera, ossia l'atmosfera nelle circostanze ordinarie è ad un potenziale più alto della terra.

FINE DEL 2° ED ULTIMO VOLUME.

APPENDICE

V. pag. 111. — **4** *bis.* Si dicono **macchine ad espansione** quelle in cui non si lascia entrare il vapore nel cilindro durante tutta la corsa dello stantuffo, ma solo per una parte (per es. la metà) e si affida l'incarico di compiere la corsa alla forza espansiva del vapore già entrato.

Questo artifizio presenta il duplice vantaggio di permettere l'economia del vapore e di rallentare la corsa dello stantuffo verso ciascun capo del cilindro permodochè l'inversione del suo moto diviene più dolce.

Ciò si ottiene anticipando la chiusura del canale di accesso del vapore nel cilindro, sia *colla precessione della valvola* cioè col far anticipare il suo movimento di chiusura, sia col munire la valvola stessa di due piedi *A-B* (fig. 256), mediante i quali essa anticipa ancora la chiusura quando entra in movimento.

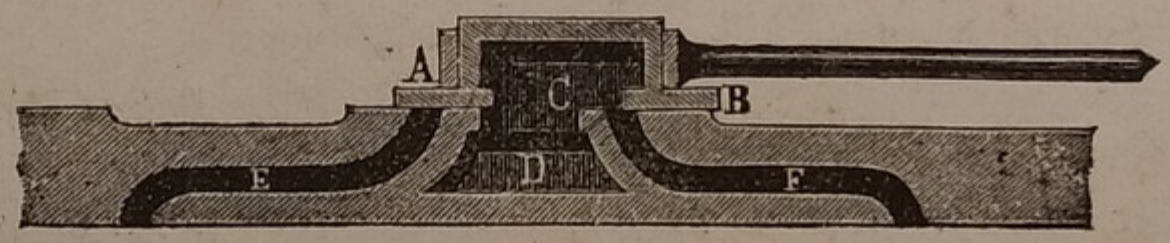


Fig. 256.

Le macchine fornite di questo artificio si dicono ad *espansione semplice.*

Si può anche far lavorare il vapore a piena pressione nel primo cilindro e poi farlo passare in un secondo cilindro più grande, munito esso pure di stantuffo mosso dalla sola forza espansiva del vapore che vi giunge dal primo cilindro. Risulta così il sistema *composto* (dagli inglesi detto *compound).* In tal caso la macchina si denomina *a doppia espansione.*

V. pag. 119. — **10** *bis.* **Motori a gas e a benzina.** — Nelle piccole industrie sono oggidì molto usati, siccome più convenienti delle macchine a vapore, i motori a gaz e a benzina nei quali si utilizza la forza espansiva che nasce dalla esplosione di una miscela di aria e di qualche idrocarburo aeriforme che viene opportunamente accesa.

Se l'idrocarburo è costituito dal gas luce, il motore si dice *a gas.* Se è costituito da vapori di benzina, il motore si dice *a benzina.* Il vapore di benzina si otteneva nei primi tempi facendo gorgogliare l'aria nella benzina in modo che quella si caricava di vapori di questa. Nelle macchine moderne detta miscela si produce in un apparecchio speciale, detto *carburatore,* generalmente costituito da un recipiente dove giunge un sottile getto di

benzina che, polverizzandosi, evapora rapidamente e si mescola coll'aria nelle proporzioni volute per fare una miscela perfettamente esplosiva.

In questi *motori ad esplosione* havvi un cilindro in cui va e viene uno stantuffo di forma speciale, detto *a campana*. Il cilindro è aperto dalla parte concava dello stantuffo ove questo mediante una biella si articola ad una manovella dell'albero principale, mentre dalla parte opposta il cilindro comunica con una cavità, detta *camera di scoppio*.

Lo stantuffo, movendosi verso la estremità aperta del cilindro, aspira in questo e nella detta camera la miscela esplosiva attraverso ad un foro munito di valvola, detta *di aspirazione*, e poi col suo movimento in senso contrario comprime la miscela nella camera di scoppio. Ivi, nel momento della compressione, una fiammella od una scintilla elettrica accende la mescolanza che esplodendo sviluppa una pressione da cui viene respinto indietro lo stantuffo; e questo, per il moto di rotazione dell'albero a cui è congiunto mediante la biella, ritorna nuovamente verso il fondo del cilindro e ne espelle i prodotti della combustione che escono dalla camera di scoppio per un foro munito di *valvola di scarico* comandata dall'albero, come quella di aspirazione. Indi lo stantuffo ricomincia il moto aspirante.

Perciò in questi motori si distinguono 4 tempi, o fasi, che sono:

1° Aspirazione della miscela tonante.

2° Compressione di essa.

3° Scoppio della stessa ed espansione dei prodotti della combustione.

4° Espulsione di questi dal cilindro.

A ciascuna fase corrisponde una corsa dello stantuffo, che però riceve una spinta al movimento solo nel 3° tempo, e negli altri 3 tempi si muove in grazia dell'inerzia di un volante annesso all'albero a cui esso è articolato mediante la biella.

I motori a benzina sono molto usati per il movimento delle *vetture automobili*, *motociclette*, e *canotti automobili*. Nelle prime, dette semplicemente *automobili*, il motore è collocato sul davanti entro una cassa in modo che si può facilmente ispezionare quando occorre. Esso è costituito da 4 o più cilindri verticali i cui stantuffi agiscono alternativamente col massimo braccio di rotazione su altrettante manovelle di uno stesso albero a cui sono applicate le ruote motrici.

Si costruiscono anche motori di piccola potenza ad un solo cilindro; essi hanno il pregio dello semplicità, ma il grave inconveniente di imprimere scuotimenti alla vettura; mentre aumentando il numero dei cilindri il movimento diviene più regolare.

Per disperdere il calore sviluppato nei cilindri dalle continue esplosioni (che danneggia le valvole e scompone gli olii impiegati per la lubrificazione) serve il *raffreddatore* o *refrigerante*.

Per motori di piccola potenza (fino a 3 cavalli) come quelli delle motociclette, il raffreddamento si ottiene semplicemente mediante alette metalliche applicate alla superficie esterna del cilindro, le quali ne aumentano la superficie esterna di raffreddamento. Ma per motori di maggior potenza

è necessaria una circolazione d'acqua. Questa è contenuta in una camicia che circonda i cilindri e la camera di scoppio di dove viene aspirata e spinta da una pompa rotativa nel *radiatore* ove si raffredda, per ritornare poi mediante un altro tubo nella camicia del motore.

Il *radiatore* dell'acqua è costituito: o da un tubo a serpentino con alette in cui circola l'acqua calda proveniente dalla camicia del motore, o da una vasca, collocata nella parte anteriore del cofano, attraversata da un gran numero di piccoli tubi orizzontali la cui bocca aperta nella faccia anteriore e posteriore della vasca dà a questa l'apparenza di un alveare; per cui tale radiatore è detta *nido di api*. Questi tubi, per cui passa continuamente l'aria durante la corsa dell'automobile, si raffreddano e perciò raffreddano l'acqua della vasca che è in contatto colla superficie esterna dei medesimi. Il movimento dell'aria nei detti tubi viene favorito mediante un ventilatore aspirante.

L'accensione della miscela esplosiva è prodotta da una scintilla elettrica somministrata da una piccola macchina magneto-elettrica, o da un piccolo rocchetto d'induzione azionato da qualche accumulatore.

Avviamento. — Mentre nelle macchine a vapore basta aprire l'introduzione del vapore dalla caldaia nel cilindro perchè la sua pressione sullo stantuffo produca il movimento, nei motori a scoppio è necessaria l'aspirazione, la compressione, e poi l'accensione della miscela tonante. Ciò si ottiene mediante alcuni giri di una manovella collocata sul davanti, il che determina il movimento degli stantuffi, e quindi una prima esplosione, dopo la quale il motore può continuare il movimento da sè.

Per fermare il motore si chiude l'immissione della miscela nel cilindro, oppure si interrompe la corrente elettrica che fornisce la scintilla di accensione, oppure mediante un dispositivo speciale si aprono le valvole del motore in modo che non avvenga più la compressione della miscela esplodente.

V. pag. 244. — **4** *bis.* **Il Cinematografo** inventato dai fratelli Lumière è un apparecchio mediante il quale si ha l'illusione di vedere persone od oggetti in movimento. È fondato sul fatto che la moderna fotografia istantanea permette di fotografare le varie posizioni di una persona o di un oggetto qualunque in movimento in ragione di quindici o venti pose successive al minuto secondo su di un nastro di pellicola sensibile che passa rapidamente dinanzi all'obbiettivo della macchina fotografica, il quale viene aperto e chiuso altrettante volte; queste diverse impressioni fotografiche sviluppate e fissate si fanno poi ripassare colla stessa rapidità dinanzi agli occhi degli spettatori proiettandole ingrandite su di uno schermo; e così essi vedono quegli oggetti nelle diverse pose che essi assumono nel loro movimento; donde risulta l'impressione di questo.

V. pag. 410. — **17. Cenno sui diversi sistemi telegrafici.** — Le esigenze sempre crescenti della telegrafia richiedono la massima celerità nelle trasmissioni, e a tale scopo si sono inventati i telegrafi *automatici* e i *multipli*. I primi sono quelli in cui la trasmissione avviene automaticamente mediante la preparazione meccanica degli apparecchi.

Il più usato di questi è quello di Wheatstone in cui si applicano al trasmettitore listerelle di carta traforata mediante le quali la corrente elettrica fa funzionare il ricevitore nella stazione ricevente.

Si dicono *multipli* i telegrafi in cui si fanno funzionare contemporaneamente e indipendentemente fra loro diversi apparecchi mediante un solo filo. Tra questi il più usato è il Baudot nel quale quattro impiegati possono approfittare successivamente ciascuno di $^1/_{12}$ di secondo per trasmettere una lettera del proprio dispaccio sullo stesso filo.

In generale i sistemi *multipli* adottati per accelerare la trasmissione sono: 1° *Sistema duplex*, spedizione simultanea di due dispacci in senso opposto collo stesso conduttore; 2° *Sistema diplex*, spedizione simultanea di due dispacci nello stesso senso collo stesso conduttore; 3° *Sistema quadruplex*, che si ottiene combinando la disposizione in *diplex* con quella in *duplex*, in modo che alle due stazioni estreme si possono trasmettere insieme sopra una stessa linea quattro dispacci, due in una direzione e due nella contraria.

Appartiene pure alla categoria dei telegrafi multipli e stampanti quello recentissimo dell'Americano Rowland di cui si ha un concetto supponendo una macchina da scrivere ordinaria la cui tastiera è in una stazione e il meccanismo scrivente in un'altra congiunta alla prima mediante un filo telegrafico permodochè quella può far funzionare questo mediante la corrente elettrica. In ciascuna stazione vi sono 4 trasmettitori e 4 ricevitori congiunti con un solo filo. Finora in Italia questo telegrafo è soltanto usato fra Roma e Napoli.

V. pag. 427. — **8. Cenni sulla Radioattività. Sostanze radioattive.** — La scoperta dei raggi X fatta dal Prof. Röntgen al principio del 1896 diede la spinta a molteplici indagini intorno alla possibilità della esistenza di altre radiazioni capaci di agire sulle lastre fotografiche e di attraversare i corpi opachi alla luce. Nello stesso anno 1896 il Prof. Enrico Becquerel a Parigi studiando i raggi emessi dai corpi fluorescenti osservò che fra questi i sali di uranio erano la sorgente di radiazioni speciali aventi grandi analogie coi raggi X e coi raggi catodici, cioè capaci come questi di impressionare le lastre fotografiche, di attraversare le sostanze solide, liquide e gazose, purchè lo spessore sia sufficientemente piccolo, di rendere debolmente conduttori dell'elettricità i gas che attraversano.

Indi nel 1898 il Signor Schmidt e la Signora Curie trovarono separatamente che il metallo *torio* ha proprietà analoghe. La Signora Curie denominò *sostanze radioattive* l'uranio e il torio, e *raggi Becquerel* i raggi che esse emettono spontaneamente.

Di più la Signora Curie trovò che la pechblenda (minerale di ossido di uranio) è 4 volte più attiva che l'uranio metallico. Infine nel 1900 i coniugi Curie a Parigi dopo un lungo, penoso e costoso lavoro, giunsero a scoprire due elementi nuovi (assai più attivi che l'uranio) e cioè il *polonio*, prossimo al bismuto e il *radio*, prossimo al bario per le loro qualità.

Il Signor Debierne separò poi l'*attinio*, nuova sostanza radioattiva appartenente al gruppo delle terre rare.

Le radiazioni di cui ora si parla producono effetti luminosi di fluorescenza, effetti calorifici, chimici, fotografici ed elettrici, rendono conduttori i gas che attraversano, permodochè i corpi elettrizzati posti in vicinanza perdono la loro carica.

Recentissimi studi permettono poi di affermare che la radioattività è una proprietà generale della materia e che ogni corpo è radioattivo in grado più o meno elevato.

Per interpretare la radioattività si ammette che gli atomi dei corpi non sono già indivisibili, come significa la parola, ma sono costituiti da particelle più piccole, dette *elettroni* perchè posseggono una carica elettrica. Se una perturbazione avviene nell'equilibrio degli elettroni costituenti l'atomo, esso va in sfacelo, e i corpuscoli costituenti vengono proiettati nello spazio. Così può avvenire che un sistema di elettroni, cioè un atomo, si sfaceli e dia origine ad altri sistemi di elettroni costituenti altri atomi; in tal modo (come dice il Prof. Righi) (1) « resta bandito dalla scienza il dogma della invariabilità dell'atomo chimico, ossia della non trasformabilità delle sostanze chimiche le une nelle altre, giacchè tutte risultano allora costituite da elettroni ».

---

(1) A. Righi, *La moderna teoria dei fenomeni fisici*, 2ª edizione, pag. 157.

$i \times A = \text{Coulomb}$

(2)

Ripetiamo i passi concetti

$i = \frac{n e}{r + n \rho}$

si è avuta quanta calorie assorbe

equivalente termico Joul

$q = i^2 r t (0,24)$

$q = 9^2 \cdot 21 \cdot \frac{9}{3} \times (0,24) = 50$ (calorie piccole)

$i = \frac{e}{r + \frac{\rho}{n}}$

$i = \frac{e}{\frac{r}{\rho} + \frac{\rho}{q}}$

$r = K \frac{l}{S}$ in cm

Filo lungo 100 cm sez 0,50 mm²

$K = 0,0000109$

Un ferro elettrico da stiro funzionante con 120 Volt
assorbe circa

$$i = \frac{80 \text{ Volt}}{120 \text{ ohm}}$$

$$i = \frac{\varepsilon}{r} \qquad \begin{aligned} \text{Watt} &= i \cdot \varepsilon \\ \text{Watt} &= i^2 r \end{aligned}$$

$$\text{intensità} = \frac{80 \text{ W}}{120} = \frac{2}{3} \text{ di Ampère}$$

$$\text{Watt} = \frac{2}{3} \cdot 80 =$$

$$\text{Watt} = \frac{4}{9} \cdot 120 = \frac{480}{9} = 53,3$$

$$a = b \cdot c$$

$$b =$$

$$a : b = c : 1$$

$$b \; \frac{a}{c}$$

INDICE

Capitolo I.

ENERGIA TERMICA

§ 1. Sorgenti di calore . . . . . *Pag.* 1
§ 2. Teoria meccanica del calore . . . . . » 7
§ 3. Conduttività termica dei solidi, liquidi e gas . . . . . » 11
§ 4. Dilatazione dei solidi . . . . . » 19
§ 5. Dilatazione dei liquidi . . . . . » 29
§ 6. Variazioni di densità dell'acqua . . . . . » 33
§ 7. Dilatazione dei gas . . . . . » 36
§ 8. Termometri . . . . . » 39
§ 9. Calore specifico dei solidi e dei liquidi . . . . . » 50
§ 10. Calore specifico dei gas . . . . . » 58
§ 11. Fusione e solidificazione . . . . . » 60
§ 12. Miscugli frigorifici . . . . . » 72
§ 13. Rigelazione del ghiaccio . . . . . » 73
§ 14. Tensione dei vapori . . . . . » 75
§ 15. Densità dei vapori e mescolanze dei vapori coi gas . . . » 83
§ 16. L'evaporazione . . . . . » 86
§ 17. Leggi dell'ebollizione . . . . . » 88
§ 18. Freddo prodotto dalla vaporizzazione . . . . . » 98
§ 19. Condensazione dei vapori e dei gas . . . . . » 104
§ 20. La macchina a vapore . . . . . » 106

Capitolo II.

METEOROLOGIA

§ 21. Umidità dell'aria . . . . . *Pag.* 120
§ 22. Temperatura dell'aria e del suolo . . . . . » 126
§ 23. Variazioni della pressione atmosferica . . . . . » 133
§ 24. I venti . . . . . » 135
§ 25. Idrometeore . . . . . » 144

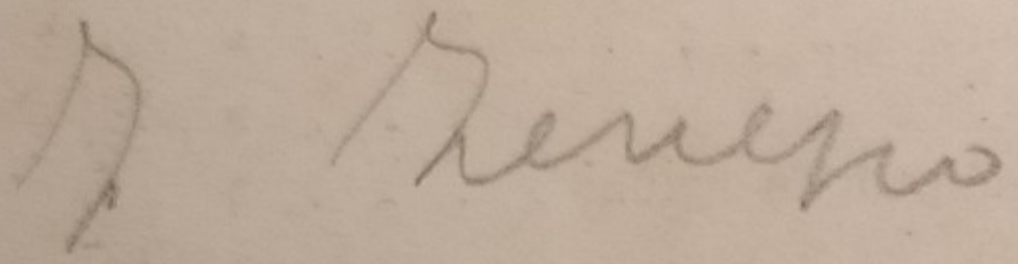
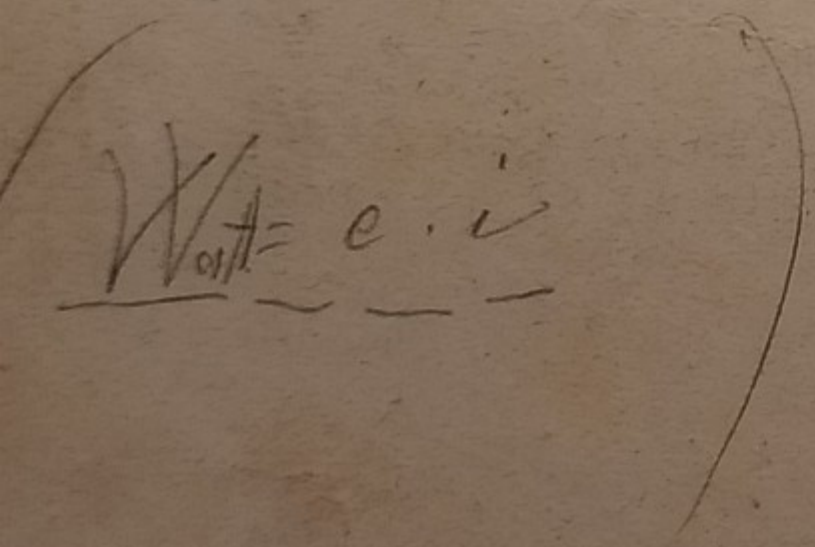
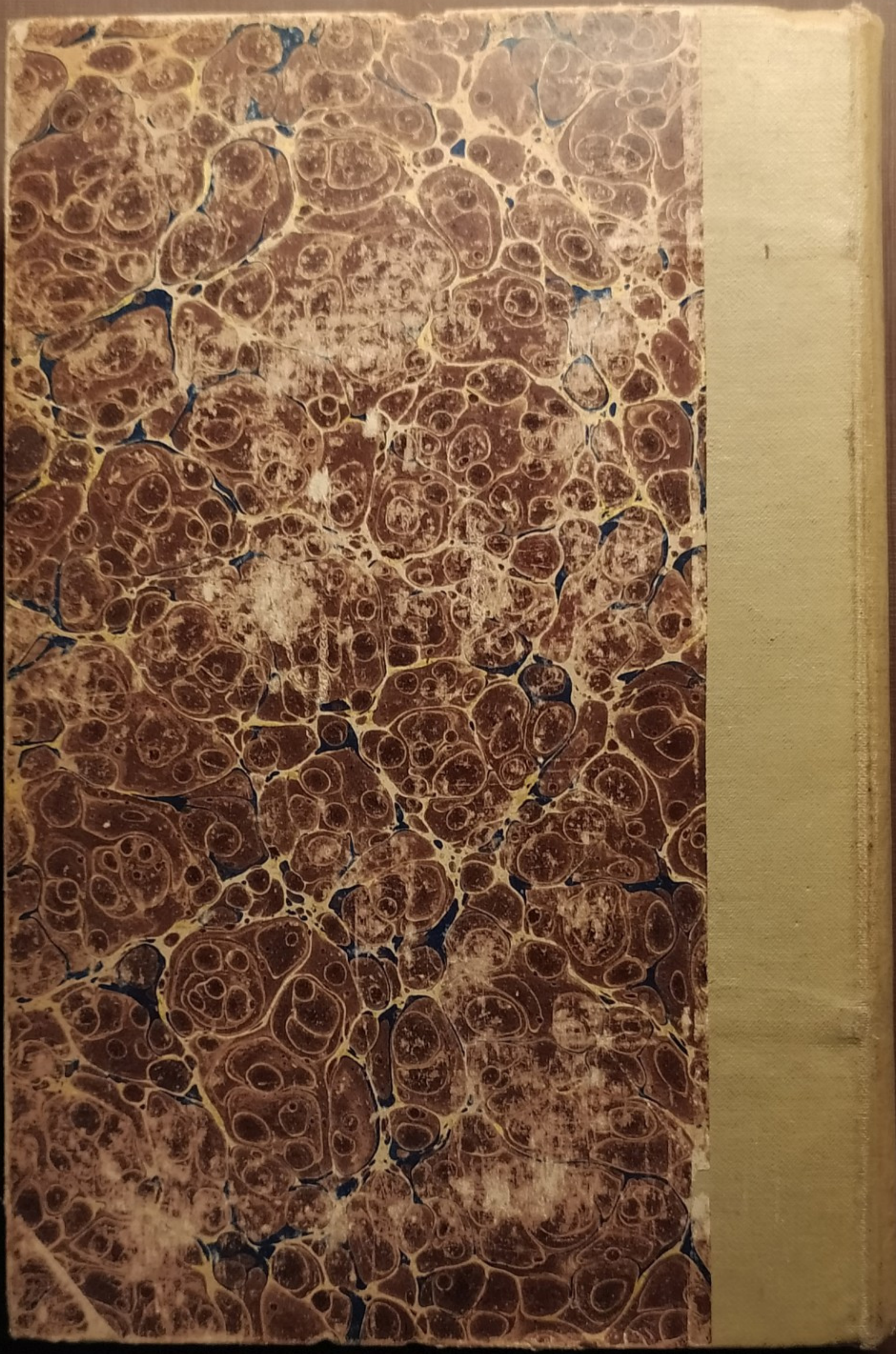
Capitolo III.

ENERGIA RAGGIANTE

§ 26. Sorgenti e natura della luce . . . . . *Pag.* 152
§ 27. Propagazione della luce . . . . . » 154
§ 28. Intensità della luce . . . . . » 162
§ 29. Riflessione della luce . . . . . » 165
§ 30. Immagini prodotte dagli specchi piani . . . . . » 167
§ 31. Specchi sferici concavi . . . . . » 174
§ 32. Specchi sferici convessi . . . . . » 184
§ 33. Rifrazione della luce . . . . . » 187
§ 34. Fenomeni dipendenti dalla rifrazione . . . . . » 193
§ 35. Angolo limite e riflessione totale . . . . . » 195
§ 36. La rifrazione nei prismi . . . . . » 199
§ 37. Lenti convergenti . . . . . » 203
§ 38. Lenti divergenti . . . . . » 215
§ 39. Spettro solare . . . . . » 219
§ 40. Acromatisno . . . . . » 228
§ 41. L'occhio e la visione . . . . . » 231
§ 42. Apparecchi di proiezione . . . . . » 241
§ 43. Microscopi . . . . . » 244
§ 44. Cannocchiali . . . . . » 247
§ 45. Spettroscopi e analisi spettrale . . . . . » 251
§ 46. Colori dei corpi . . . . . » 258
§ 47. Cenni sul calore raggiante . . . . . » 261
§ 48. Arcobaleno e corone . . . . . » 270

Capitolo IV.

ELETTRICITÀ E MAGNETISMO

§ 49. Elettricità sviluppata per strofinìo, e sua comunicazione per contatto. . . . . *Pag.* 273
§ 50. Corpi buoni e cattivi conduttori della elettricità . . . . . » 275
§ 51. Le due specie di elettricità e le loro reciproche azioni . . » 277
§ 52. Elettroscopii e dispersione dell'elettricità . . . . . » 280
§ 53. Leggi delle attrazioni e repulsioni elettriche . . . . . » 283
§ 54. L'elettricità alla superficie dei conduttori . . . . . » 286
§ 55. Induzione elettrostatica . . . . . » 292
§ 56. Concetto sperimentale del potenziale elettrico . . . . . » 295
§ 57. Le macchine elettriche a strofinìo . . . . . » 298

§ 58. Esperienze colla macchina elettrica . . . . . *Pag.* 301
§ 59. I condensatori della elettricità . . . . . » 307
§ 60. L'Elettroforo e le macchine elettriche ad induzione . . . » 317
§ 61. Effetti della scarica dei condensatori . . . . . » 320
§ 62. Calamite naturali e artificiali . . . . . » 323
§ 63. I poli di una calamita e le loro reciproche azioni . . . . » 325
§ 64. Induzione magnetica . . . . . » 327
§ 65. Magneti elementari, spettro e campo magnetico . . . . . » 331
§ 66. Legge delle attrazioni e repulsioni magnetiche . . . . . » 335
§ 67. Magnetizzazione artificiale, fasci magnetici e portata dei magneti . . . . . » 336
§ 68. Il magnetismo terrestre . . . . . » 341
§ 69. La corrente elettrica . . . . . » 350
§ 70. Cenni storici sulla invenzione della pila di Volta . . . . . » 353
§ 71. La pila di Volta e le sue modificazioni . . . . . » 355
§ 72. Il galvanometro . . . . . » 358
§ 73. Coppie elettromotrici a depolarizzante . . . . . » 365
§ 74. Leggi fondamentali della corrente elettrica . . . . . » 373
§ 75. Effetti calorifici e luminosi delle correnti elettriche . . . » 377
§ 76. Le correnti termoelettriche e il fenomeno Peltier . . . . » 383
§ 77. Effetti chimici della corrente elettrica . . . . . » 385
§ 78. Azioni reciproche fra le correnti elettriche e fra queste e le calamite . . . . . » 394
§ 79. Campanello, orologio e telegrafo elettrico . . . . . » 401
§ 80. Correnti di induzione . . . . . » 411
§ 81. Scariche elettriche nei gas rarefatti e raggi Röntgen . . . » 423
§ 82. Telegrafo senza fili . . . . . » 428
§ 83. Le macchine dinamo-elettriche . . . . . » 434
§ 84. Applicazioni principali delle dinamo-elettriche . . . . . » 446
§ 85. Il telefono e il microfono . . . . . » 451
§ 86. Elettricità atmosferica . . . . . » 455
APPENDICE . . . . . » 459